

目次

壹、出國考察依據及目的.....	11
一、出國依據.....	11
二、考察目的.....	11
貳、考察成員及行程	11
一、考察成員.....	11
二、考察行程.....	12
叁、參與第 16 屆 UIC 亞太地區首長集會紀實	13
一、簡介.....	13
二、議程.....	13
肆、參與第 10 屆世界鐵道研究會議紀要	14
一、簡介.....	14
二、學術論文摘要.....	15
(一)營運效能與路線容量(Performance and Capacity)	15
(二)號誌、通訊和運轉(Signalling, Communications and Operations)	27
(三)系統和資訊(Systems and Information)	38
(四)客貨列車(Rolling Stock)	45
(五)運輸安全(Safety).....	56
(六)基礎建設及電氣化(Infrastructure and Electrical).....	60
(七)經濟與政策(Economics and Policy)	64
(八)環境保護(Environment).....	69
伍、考察澳洲鐵路與車站設施	74
一、雪梨城市鐵路.....	74
(一)簡介	74
(二)組織沿革	74
(三)電氣化	74
(四)路網	74
(五)列車	75
(六)票價	75
二、雪梨輕軌鐵路.....	76
(一)簡介	76
(二)組織沿革	76

(三)路線	77
(四)票價	77
三、新南威爾斯鐵路博物館.....	78
四、雪梨中央車站.....	80
(一)簡介	80
(二)車站結構	80
(三)車站月台及路線服務	80
(四)車站大堂及出口	81
(五)無障礙設施	81
五、雪梨環型碼頭車站.....	84
陸、參與研討會與考察鐵路設施心得與建議事項.....	87
一、參與研討會與考察鐵路設施心得.....	87
(一)參與世界鐵道研究會議(WCRR)研討會心得.....	87
(二)考察澳洲鐵路設施心得	89
二、參與研討會與考察鐵路設施建議事項.....	91
(一)落實研討會與考察鐵路設施心得的結論事項	91
(二)以澳洲昆士蘭省傾斜式列車為範本，在西部幹線進行提速計畫 ...	91
(三)在既有鐵路設施下，重新檢視路線及車站容量	91
(四)綠色運輸及環保節能	92
(五)鐵路安全提升	92
(六)持續更新路線及設施	92
(七)更新車輛以提升乘坐舒適度	92
(八)提升列車準點率	93
柒、參考資料	94
附件	97
參與研討會及考察鐵路設施行程照片輯要.....	97

圖目錄

圖 1.雪梨之國際會議及展示中心	14
圖 2.會議及展示中心前廣場之小火車	14
圖 3.WCRR 2013 之 LOGO	14
圖 4.WCRR 2013 開幕式各國首長演說	14
圖 5.WCRR 研討會實況之一	15
圖 6.WCRR 研討會實況之二	15
圖 7.WCRR 研討會實況之三	15
圖 8.WCRR 研討會實況之四	15
圖 9.東京民眾利用火車通勤的需求率	16
圖 10.尖峰時間列車運行圖，雙軌化的地鐵路線，其列車相隔約為 2 至 3 分鐘	16
圖 11.列車掛 10 節車廂(每節 20 公尺)為基準	17
圖 12.完全服務運轉(Through-service Operation)在東京大都會區路網圖	17
圖 13.東京使用軌道運輸旅客之抱怨問題，以列車誤點為最多	18
圖 14.列車擁擠率非常高，旅客湧入列車及人或物品被車門夾住狀況時常發生， 導致停留時間加長造成誤點	18
圖 15.延誤減少方法：透過增派月台嚮導人員的旅客流量疏導服務，可縮短列車 在站內停留時間	19
圖 16.延誤減少方法：改善車站設施，例如：增大月台空間、改變列車停留位置	19
圖 17.延誤減少方法：改善列車結構，例如：採用更寬或更多的車門	20
圖 18.延誤減少方法：改善號誌系統	20
圖 19.延誤減少方法：調整時刻表	21
圖 20.延遲時間彩色圖表(Chromatic Diagram)	22
圖 21.延遲時間泡沫圖表(Bubble Diagram)	22
圖 22.延遲圖表(Delay Diagram)	22

圖 23.餘裕空間指標(調整時刻表之指標).....	23
圖 24.餘裕空間指標之計算.....	23
圖 25.Tozai Line 行經東京都會區最擁擠的區域，清晨尖峰時間延誤平均超過 5 分鐘，2007 年更有超過 200 個旅客投書抱怨案件.....	24
圖 26.Tozai Line 延誤減少方法：利用近似碼(approach code).....	24
圖 27.Tozai Line 延誤減少方法：增加月台嚮導、改變車體結構及列車停車位置...	24
圖 28.模型之 MAA PPM 曲線，及遇到列車間距不足、火災事故之 MAA PPM 曲線	26
圖 29.敏感性分析之效度，未來在列車數量加倍的情況下意外事故數量反而減少	26
圖 30.在具有高路線容量和低可靠度表現的鐵路路線，提升其 MAA PPM 值...	26
圖 31.ERTMS 下之三大子系統.....	28
圖 32.泛歐洲鐵路路網(Trans-European Network, TEN).....	28
圖 33.丹麥鐵路路網，包括長距離路線(F-bane)及 CPH 郊區路線(S-bane).....	29
圖 34.丹麥鐵路號誌系統，綠色代表未過使用年限，紅色代表已過使用年限...	29
圖 35.丹麥鐵路號誌系統建置時程表.....	30
圖 36.丹麥國鐵準點率監測系統.....	31
圖 37.準點率監測系統(RDS)之功能模組.....	31
圖 38.S-bane 之誤點原因分析流程.....	32
圖 39.F-bane 之誤點原因分析流程.....	33
圖 40.F-bane 之重新排程流程.....	33
圖 41.GSM-R 之網路階層結構.....	35
圖 42.使用者和 IMS 系統經過 IP 網路的傳遞過程.....	35
圖 43.利用 LTE 技術之鐵路通訊網路結構.....	36
圖 44.利用 LTE 技術之鐵路通訊網路設備.....	36
圖 45.LTE-Advanced 載波聚合之概念.....	37
圖 46.載波聚合之種類.....	37

圖 47.列車通訊模組之傳輸架構	37
圖 48.路線利用指標(CUI)及路線利用率計算	38
圖 49.在 Peterborough 和 Huntingdon 路段間，加裝高速轉轍器	40
圖 50.Peterborough 車站加裝高速轉轍器後之股道圖	40
圖 51.車上互動多媒體應用之創新平台可提供之服務	41
圖 52.歐盟鐵路車上互動多媒體平台整合之三大要素：標準化、規範化、研究力	42
圖 53.互動多媒體平台系統架構	42
圖 54.互動多媒體平台資訊服務傳輸架構	43
圖 55.CCTV 影像監視器之傳輸架構	43
圖 56.旅客娛樂及資訊系統(Passenger Entertainment and Information System, PEIS) 之傳輸架構	44
圖 57.目前車上多媒體平台標準化流程階段	44
圖 58.未來依 IEC 標準，建構之列車網路及通信服務架構	45
圖 59.指宿枕崎線列車外觀	45
圖 60.指宿枕崎線列車外觀	45
圖 61.列車頭等艙客車車廂	46
圖 62.列車頭等艙餐車服務檯	46
圖 63.列車貳等艙客車車廂	46
圖 64.列車圖書室	46
圖 65.列車孩童座椅	46
圖 66.列車除霧裝置(霧由車門上方排出)	46
圖 67.JR 九州列車之轉向架	47
圖 68.臺鐵 PP 自強號列車之轉向架	47
圖 69.加速動力分配裝置(PSD)在高頻率下之運作	47
圖 70.列車控制單元與加速測量器、變動垂直阻尼器	48
圖 71.JR 九州轉向架上安裝之變動垂直阻尼器	48

圖 72.變動垂直阻尼器的特徵	49
圖 73.控制單元、加速測量器及變動垂直阻尼器	49
圖 74.垂直震動減緩系統控制邏輯及系統運作原理	50
圖 75.變動垂直阻尼器之錯誤偵測邏輯	50
圖 76.減少垂直震動之系統運作讓列車垂直震動有顯著改善	50
圖 77.德國航太中心研發的三種次世代列車	51
圖 78.德國次世代列車外型模擬照片	52
圖 79.次世代列車設計概念圖	52
圖 80.德國次世代超高速旅客列車(HST)	53
圖 81.旅客分流之設計概念(傳統為紅色路線、分流為藍色路線)	53
圖 82.雙層車廂設計使旅客在上下層月台同時進出	53
圖 83.採用輕質量材料建立車體結構	53
圖 84.車體架構類似蜂巢狀，碳纖維原件形成加強三明治式組件	54
圖 85.列車碰撞力吸收長度依車體部位而有所不同	54
圖 86.列車碰撞等級依車體部位而有所不同	54
圖 87.以 1:5 縮小比例尺模擬之機車頭尖端(如上圖左方)	
在遭受 6 噸的撞擊時，玻璃纖維製成的機車頭尖端具有凹陷及防止撞擊損害過大的效果(如上圖右方)	55
圖 88.2012 年在 InnoTrans,Berlin 展出之 NGT 超高速旅客列車內部構造，包括：最佳化流線型車體骨幹、機電整合之單一輪軸、降低衝撞力之機車頭尖端、符合 HVAC 之冷暖空調系統	55
圖 89.德國次世代列車在月台停靠之模擬照片	55
圖 90.瑞士交通運具：標準軌列車、窄軌列車、纜車、齒軌鐵路、城市輕軌電車、公車、船舶	56
圖 91.系統安全指標產生流程	57
圖 92.瑞士鐵路系統之系統安全指標	57
圖 93.安全指標圖表分析	58

圖 94.安全指標系統分析	58
圖 95.安全指標之統計分析包括：事故發生頻率趨勢、事故頻率分佈、安全指標失靈與否、嚴重事故趨勢、嚴重事故分佈、地區安全指標失靈與否	59
圖 96.依地區別詳述每件事故發生地點及原因	59
圖 97.法國國鐵 SNCF 鐵路路網圖	60
圖 98.地面雷射掃描技術	61
圖 99.行動地圖定位系統技術	61
圖 100.軌道之 3D 地理資訊分析	61
圖 101.電車線之 3D 地理資訊分析	62
圖 102.軌道淨空控制之 3D 地理資訊分析	62
圖 103.橋樑與建築物之 3D 地理資訊分析	62
圖 104.植被之 3D 地理資訊分析	62
圖 105.在難以接近區域之地質監控與分析	63
圖 106.危險地質監控與分析	63
圖 107.利用無人遙控飛機進行監控	63
圖 108.韓國一卡通	64
圖 109.智慧卡整合了首爾的大眾運輸市場	64
圖 110.使用智慧卡資料進行統計分析之流程	65
圖 111.交通運輸智慧卡資料之欄位架構	65
圖 112.依不同客群及交通運具來觀察轉乘模式的特性	66
圖 113.所有旅客之交通行為模式，整個旅程只有一次轉乘佔 95%以上，若包含 2 次轉乘則佔 99%以上	66
圖 114.首爾市公車和地下鐵系統路線	67
圖 115.模型解釋變數	67
圖 116.測試多重交通運具組合之效用功能表	67
圖 117.選擇模型的功能效用	68
圖 118.轉乘模式選擇模型(MML)	68

圖 119.多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)架構	68
圖 120.多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)估計結果	69
圖 121.UIC 規定之鐵路列車環境生命週期評估標準	70
圖 122.列車系統之環保評定範圍	70
圖 123.依照一般生命週期評定標準(LCA)之產品流程，分為設計、生產、使用、 報廢四個階段	71
圖 124.UIC 規定之二氧化碳排放標準，使用生態材料之新製造列車，其二氧化碳 排放率最多可減少至 30%	71
圖 125.鐵路列車製造流程改變對環境的影響	72
圖 126.鐵路列車之生命週期評估工具	72
圖 127.韓國列車之生命週期(從製造到報廢)共排放 35,400 噸二氧化碳	73
圖 128.製造列車生態材料之採用(列車本體使用更輕更環保之鋁合金)	73
圖 129.鐵路列車經由環保生命週期之製造模式，達到節能減碳的改善目標	73
圖 130.雪梨城鐵雙層列車機車頭	75
圖 131.雪梨城鐵雙層列車車廂	75
圖 132.雪梨城鐵雙層列車車廂座椅	75
圖 133.雪梨城鐵列車車廂電子顯示器	75
圖 134.雪梨城鐵雙層列車上下層車廂	76
圖 135.雪梨城鐵柴油雙層列車	76
圖 136.雪梨城鐵雙層列車(運轉測試中)	76
圖 137.雪梨城鐵 Tangara 雙層列車	76
圖 138.雪梨輕軌之車站標示	77
圖 139.雪梨輕軌於中央車站之緊急服務點	77
圖 140.雪梨輕軌之列車外觀	77
圖 141.雪梨輕軌之列車車廂內部及車長	77
圖 142.Heritage Express 之蒸汽機車頭	78
圖 143.蒸汽機車頭之駕駛平台	78

圖 144.Heritage Express 之商務艙內裝	78
圖 145.Heritage Express 之頭等艙內裝	78
圖 146.鐵路博物館之蒸汽機車頭	79
圖 147.鐵路博物館之古老蒸氣機車頭	79
圖 148.鐵路博物館之蒸氣機車頭	79
圖 149.鐵路博物館之汽車造型車廂	79
圖 150.鐵路博物館之扇形車庫	79
圖 151.鐵路博物館之舊式雙層列車車廂	79
圖 152.鐵路博物館之舊式車廂	79
圖 153.鐵路博物館之月台時鐘和路線表	79
圖 154.中央車站內部及乘車標示	81
圖 155.中央車站月台站名看板	81
圖 156.中央車站鐘塔及建築外觀	82
圖 157.中央車站內部及圓弧形之屋頂	82
圖 158.中央車站進站後之月台標示	82
圖 159.中央車站各列車之時刻表	82
圖 160.中央車站各列車路線之地圖	82
圖 161.中央車站月台及路線之清楚標示	82
圖 162.中央車站具百年歷史之時鐘	83
圖 163.新南威爾斯鐵路之父 John Whitton	83
圖 164.中央車站建立百年紀念碑	83
圖 165.中央車站月台一隅	83
圖 166.中央車站月台緊急協助按鈕	83
圖 167.中央車站行車運轉人員指示列車開車	83
圖 168.中央車站旁之青年旅館	84
圖 169.青年旅館以列車車廂改造之房間	84
圖 170.青年旅館置物櫃(可用信用卡支付)	84

圖 171.中央車站青年旅館入口.....	84
圖 172.環型碼頭車站建築外觀.....	85
圖 173.環型碼頭車站多功能售票機.....	85
圖 174.環型碼頭車站各運具轉乘地圖.....	85
圖 175.環型碼頭車站出入閘門及標示.....	85
圖 176.環型碼頭車站嶄新內裝及清楚標示.....	85
圖 177.環型碼頭車站緊急救援鈴.....	85
圖 178.環型碼頭車站轉乘巴士及渡輪標示.....	86
圖 179.環型碼頭車站樓梯分流設計.....	86
圖 180.環型碼頭車站清楚之標誌設計.....	86
圖 181.環型碼頭車站寬閘門使用標示.....	86
圖 182.環型碼頭車站清楚易懂之電子顯示器.....	86
圖 183.環型碼頭車站電梯圖示.....	86
圖 184.環型碼頭車站電扶梯使用限制.....	87
圖 185.環型碼頭車站防爆裂物垃圾桶.....	87
圖 186.環型碼頭車站旅客服務中心.....	87
圖 187.環型碼頭車站觀光景點導覽地圖.....	87
圖 188.昆士蘭鐵路柴油傾斜式列車.....	91
圖 189.昆士蘭鐵路電力傾斜式列車.....	91

壹、出國考察依據及目的

一、出國依據

依據102年度出國計畫，經陳報交通部102.11.15交人字第1020038520號函同意「赴澳洲雪梨參加102年國際鐵路協會(UIC)年會並考察當地軌道運輸及營運情形」。

二、考察目的

本局自 1970 年代起，奉交通部駐歐代表要求加入 UIC，至今已 40 餘年，2010 年曾赴中國北京參與第 77 屆 UIC 會員大會。此次受到 UIC 亞太區理事長暨 JR 東日本鐵路公司總裁清野智先生及 CRC for Rail Innovation Chief Executive Officer David George 先生之來函邀請，參與在澳洲雪梨舉行之第 16 屆亞太區首長級年會 (16th Asia-Pacific Regional Assembly)暨第 10 屆世界鐵道研究會議(10th World Congress on Railway Research)。Asia-Pacific Regional Assembly 每兩年舉辦一次，目的為聚集 UIC 會員領袖代表探討各地區鐵路營運管理與技術發展等各層面所面臨之挑戰，並就目前已進行的工作小組報告工作計畫進度。World Congress on Railway Research 每年舉辦一次，吸引約 30 個國家超過 600 名代表出席，超過 190 篇技術報告發表。討論議題涵蓋：客貨車營運、基礎建設與投資評估、客貨運乘載經濟面分析、鐵路資訊與系統、平交道及號誌系統、網路及通訊系統、運輸安全等，可促進本局與亞太區各國鐵路公司之交流，及學習了解世界各國對各項鐵路議題之管理、技術、營運等學術及實務之研究，對本局未來業務發展方向甚有助益，故擬就近參與，了解大會動向及學習各國研究成果。

貳、考察成員及行程

一、考察成員

范植谷	交通部臺灣鐵路管理局	兼代局長
蔡睿明	交通部臺灣鐵路管理局運務處	調度員

二、考察行程

日期	地點	行程概述
11/22 (五)	Taipei-Sydney	去程(因華航班機為週五晚上起飛，故提早一天出發)
11/23 (六)	Sydney	抵達雪梨
11/24 (日)	Sydney	1.搭乘雪梨輕軌電車並參觀車上設施(Sydney Light Rail) 2.搭乘雪梨市鐵並參觀車上設施(Sydney City Rail) 3.參觀雪梨中央車站及車站設施(Sydney Central Station) 4.參觀雪梨環型碼頭車站及車站設施(Sydney Circular Quay Station) 5.參加 WCRR Official Welcome Reception
11/25 (一)	Sydney	1.10 th World Congress on Railway Research(WCRR) 年會開幕典禮 2.WCRR 年會第一天議程
11/26 (二)	Sydney	1.WCRR 年會第二天議程 2.UIC 16 th Asia-Pacific Regional Assembly(APRA) 亞太地區首長集會
11/27 (三)	Sydney	1.WCRR 年會第三天議程 2.拜訪雪梨辦事處
11/28 (四)	Sydney-Thirlmere -Sydney-Taipei	1.WCRR Technical Field Day Tours(澳洲軌道技術領域導覽)，搭乘蒸氣火車至鐵道博物館參訪 2.回程
11/29 (五)	Taipei	抵達臺北

叁、參與第 16 屆 UIC 亞太地區首長集會紀實

一、簡介

本屆 UIC 亞太區首長集會由澳洲 Cooperative Research Centre (CRC) for Rail Innovation 主辦，會場位於澳洲雪梨之 Four Points by Sheraton Hotel，主席團成員為 UIC 亞太區理事長暨 JR 東日本鐵路公司總裁清野智先生、CRC for Rail Innovation Chief Executive Officer David George 先生、副理事長哈薩克鐵路 CEO Askar Mamin 先生、副理事長蒙古鐵路 Gombosuren Sereenendorj 先生及 UIC 服務部門主席 Jean-Pierre Loubinoux 先生。

二、議程

(一)確認前一次的集會的會議紀錄。

(二)確認本屆年會之議程，並確認中國大陸的會員資格由 China Railway

Corporation(CR)代表，原先 Ministry of Railways of the People's Republic of China 拆分為 National Railway Administration(NRA)及 China Railway Corporation(CR)。

澳洲 CRC for Rail Innovation 將於 2014 年 6 月 30 日終止會員資格，由 Australia Railway Association 取代。

(三)提名區域法務代表，確認會員法律代表性。

(四)區域功能報告：UIC Asean(東南亞國家聯盟)區域功能報告、Organisation for Co-operation between Railways (OSJD)和 CIS 區域功能報告。

(五)2013 年區域計畫和活動報告：

1.旅客場站設計第二階段(UIC 亞太協會)。

2.監理和技術訓練(IRaTCA)(韓國國鐵)。

3.亞太網路訓練中心(UIC 亞太協會)。

4.亞洲列車之駕駛艙設計(韓國鐵道研究機構 KRRI)。

5.能源節約最佳化、臥鋪設計、提速 OHE 之設計，提速到每小時 160 至 200 公里(印度國鐵)。

6.安全貨運及旅客之訓練(CARS)。

(六)2014 年區域預算及計畫。

(七)2014 工作策略。

- (八)鐵路系統之天然災害管理(台灣高鐵)。
- (九)亞太控制決策及號誌中心研討會(JR East)。
- (十)其他臨時動議及事項。
- (十一)大會主席宣布下一次主辦日期、時間及散會。

肆、參與第 10 屆世界鐵道研究會議紀要

一、簡介

第 10 屆世界鐵道研究會議(10th World Congress on Railway Research)由 11/25 至 11/27 共舉辦三天，地點在澳洲雪梨之國際會議及展示中心(Sydney Convention and Exhibition Center)。本次 WCRR 研討會論文共有八大主題：客貨列車(Rolling Stock)、基礎建設及電氣化(Infrastructure and Electrical)、營運效能與路線容量(Performance and Capacity)、系統和資訊(Systems and Information)、運輸安全(Safety)、號誌、通訊和運轉(Signalling, Communications and Operations)、經濟與政策(Economics and Policy)、環境保護(Environment)等，擬挑選各主題中之重要學術論文，論述其重點並加以整理及討論。



圖 1.雪梨之國際會議及展示中心



圖 2.會議及展示中心前廣場之小火車



圖 3.WCRR 2013 之 LOGO



圖 4.WCRR 2013 開幕式各國首長演說

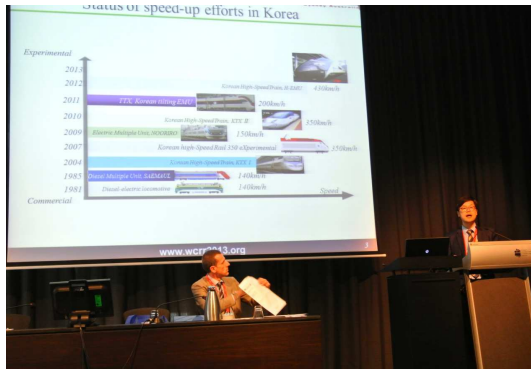


圖 5.WCRR 研討會實況之一



圖 6.WCRR 研討會實況之二



圖 7.WCRR 研討會實況之三

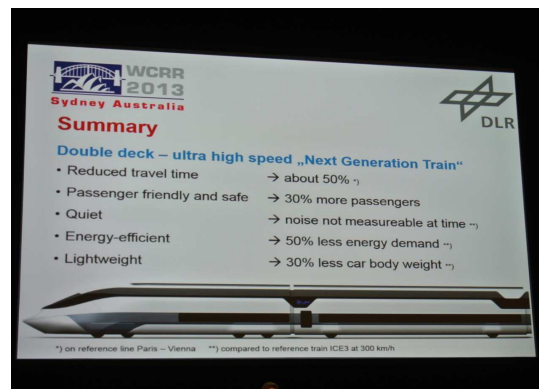


圖 8.WCRR 研討會實況之四

二、學術論文摘要

(一)營運效能與路線容量(Performance and Capacity)

1.論文題目：How we have succeeded in regaining Punctuality in Tokyo Metropolitan Railway Network? (日本東京都會區之鐵路路網，如何由誤點成功地恢復準點？)

日本都會區的鐵路，總是存在嚴重的問題，就是當尖峰時刻時總會有少許誤點，日本通勤族總會在早晨經歷數分鐘的列車延誤。旅客因素是誤點的主要原因，為了讓更密集的列車班次開出，每站停留的時間被壓縮得很短，所以當列車準備離站時，有旅客擠滿車廂無法開門或被車門夾住，就會造成列車誤點，也會造成後續列車出現誤點之連鎖誤點現象發生。

日本鐵路的特徵是完全服務運轉，意思為在郊區的列車可以直接駛入地下鐵軌道，所以旅客可以不用轉車，直接由郊區進入市區，雖然非常方便，但對準點率的維持就是一種缺點，假使在郊區的列車誤點，這延誤會導致市中心其他路線的誤點。

誤點時通常旅客會抱怨，為了重新恢復準點及增加旅客的滿意度，日本鐵路公司試著減少延遲，特別是減少在尖峰時刻所造成的小延遲。

減少延遲包括四個步驟：(1)視覺化(Visualize)列車交通紀錄資料(2)導入餘裕空間指標(buffer index)來微調時刻表(3)現場人員採取行動去減少旅客上下車延遲(4)評估行動方針。

日本鐵路公司改善誤點的方法是具整合性的，不僅包括微調時刻表及更新設備，如：號誌系統、軌道鋪設和運轉模式之更改，也採取分析圖形化行車紀錄資料及餘裕空間指標，繼而產生眾多有效的量化指標，以下分析為延誤提供改善機制與對策：

(1)環境和挑戰

在日本都會區約 3,900 萬人每天搭乘火車，為了因應這種狀況，列車運行地非常密集，特別是在早晨尖峰時刻，每小時每一方向有 25 至 30 班列車，雙軌化的地鐵路線，其列車相隔約為 2 至 3 分鐘，其擁擠程度是非常高的。列車延遲破壞運轉規律性，主因為延長停站時間和因擁擠無法關上門，這種環境對鐵路公司而言是很大的挑戰。

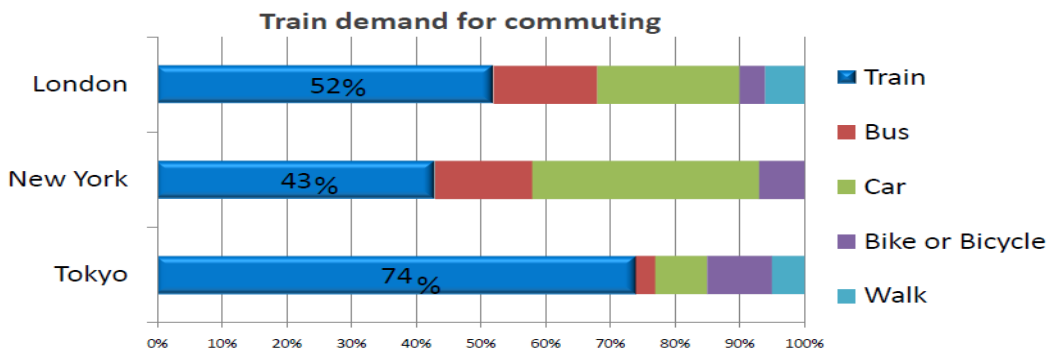


圖 9.東京民眾利用火車通勤的需求率

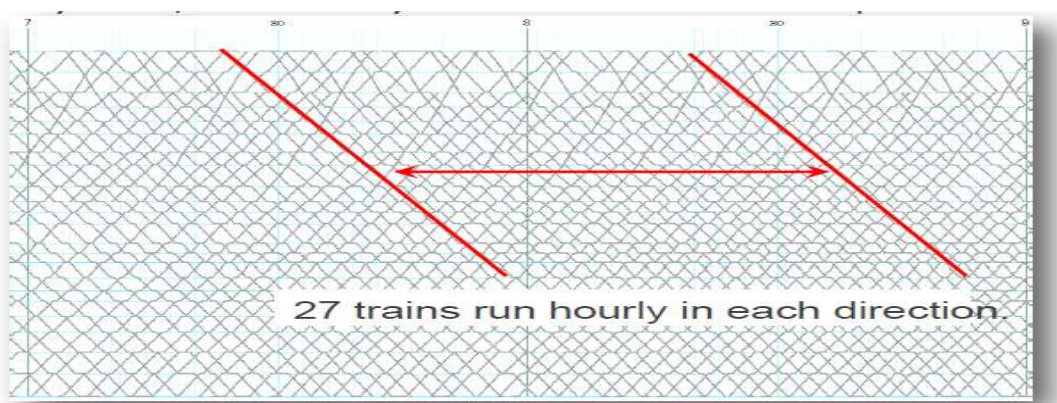


圖 10.尖峰時間列車運行圖，雙軌化的地鐵路線，其列車相隔約為 2 至 3 分鐘

(2)東京地鐵的列車運行準則

東京地鐵每日運行九條路線和運輸 620 萬名旅客，其中有七條線和 JR (Japanese Railways)、私營鐵路連結，大多路線使用長度 200 公尺的列車，在早上尖峰時間每趟列車間運行時間只有兩、三分鐘，代表非常密集的運行，滿載的列車約搭載 2,800 名旅客。



圖 11.列車掛 10 節車廂(每節 20 公尺)為基準

(3)延遲發生機制

東京地鐵因為高密度列車運行和過於壅塞，其延遲發生主因為站內停留時間延長、車門夾到人重啟閉等。東京地鐵列車便利性藉由完全服務運轉 (Through-service Operation) 而提升，但也讓列車運行更為複雜，因為其他鐵路公司列車所造成的連鎖延誤也是很大的挑戰，在如此複雜及高密度的運行下，一旦延誤發生，會導致列車速度下降，甚至臨時停車，造成延誤擴散。例如：東京地鐵 Tozai 線的尖峰時刻延誤，在 2007 年有超過 200 個旅客投書抱怨，促使鐵路公司研究對策來解決此問題。

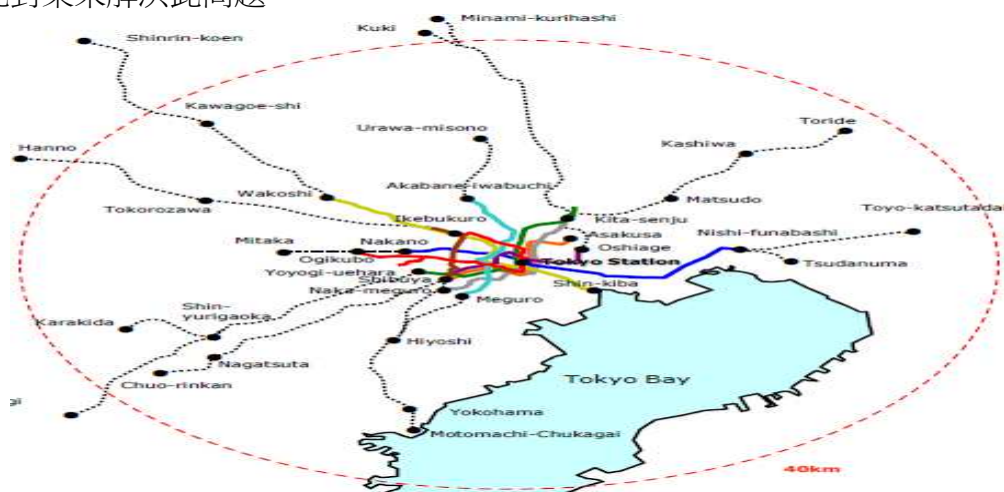


圖 12.完全服務運轉(Through-service Operation)在東京大都會區路網圖

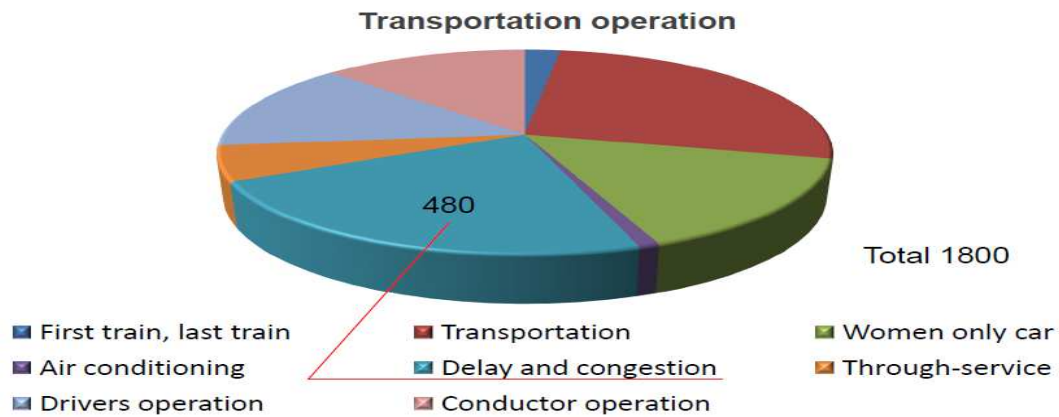


圖 13.東京使用軌道運輸旅客之抱怨問題，以列車誤點為最多

(4)增進穩定性的對策

穩定的列車運行時刻是廣範被討論的，可分為兩類：一是直接改善列車時刻表，另一是改進列車運轉人員的調度或改善列車運行設備。改善時刻表方法為加入尖峰時刻停留時間和造成延誤因素之時間。改進列車運轉人員的調度或改善列車運行設備則為試著去減少停留時間和多餘的運轉時間，來迎合現有之時刻表。關於時刻表之調整，為了配合現實環境，經再次計算來調整時刻表以增加可靠度，但過於浮濫地增加站內停留時間，會損及準點率，和因增加停留時間減少之路線容量，導致無充裕時間吸收下一次延誤的風險。

在東京地下鐵的一些路線上，對號快車和區間車同時運行，對號快車有更加擁擠之趨勢，導致延長停留時間，若因此放棄在尖峰時間運行對號快車，旅客的分配不均問題會減少，且會減少過多的停留時間。過多旅客湧入列車和車門夾到旅客會延長停留時間，為了解決這問題，需配置更多的月台人員，避免旅客湧入車廂和車門夾到旅客，藉由引導旅客依流量動線管制上下車，以減少停留時間。



圖 14.列車擁擠率非常高，旅客湧入列車及人或物品被車門夾住狀況時常發生，導致停留時間加長造成誤點

Delay reduction measures 1: Thoroughgoing operation

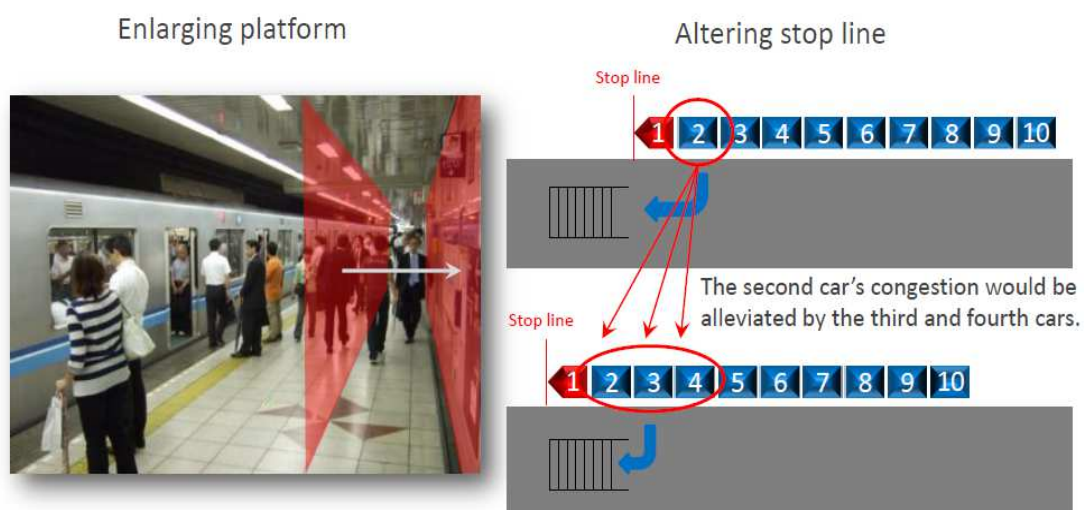


圖 15.延誤減少方法：透過增派月台嚮導人員的旅客流量疏導服務，可縮短列車在站內停留時間

(5)擴增月台、更改停站位置及改善車門結構

有些月台有狹小的通道及階梯，或轉乘路徑過小，會導致不公平的擁擠，引導使用女性專用車廂也會造成不公平的擁擠，導致停留時間過長，增大月台將紓緩旅客流，或更改停站路線，將幫助改善不均勻的擁擠。或引入使用有更多車門和更寬車門的列車，改善車門結構可以縮短停留時間。

Delay reduction measures 2: Improvement of station facilities



Enlarging platform would help ease congestion. Altering stop line would help ease congestion.

圖 16.延誤減少方法：改善車站設施，例如：增大月台空間、改變列車停留位置

Delay reduction measures 3: Improvement of cars



Smoother passenger flow made possible by cars with wider doors or more doors, leading to shorten dwell times.

圖 17.延誤減少方法：改善列車結構，例如：採用更寬或更多的車門

(6)改善號誌設施

在改善運轉穩定度中，避免延遲擴散到後續列車是很重要的，假使延長停留時間迫使後續列車減速，或在站間停留，延誤擴散程度將視後續列車與前面列車距離多近而定，而使用近似碼(approach code)是種有效方法去減緩延誤擴散。使用ATC系統也稱為一步制控制(1-step brake control)，被設計為相較於多次煞車，可使列車僅需一半的時間減速煞車，且在每一個號誌編碼(signal code)中被釋放，使制車時間減少，列車也運行更順暢。然而若在尖峰時間使用一步制控制來接近前面列車，以低速進入停止號誌區域後，將會啟動一步制煞車，則有狀況之列車會相較於預期停留位置縮短一半的距離，顯然後續列車將會受到延誤擴散之影響，所以需使用近似碼(approach code)有效的測量，特別是在顯著列車擁擠的區段。

Delay reduction measures 4: Improvement of signaling system

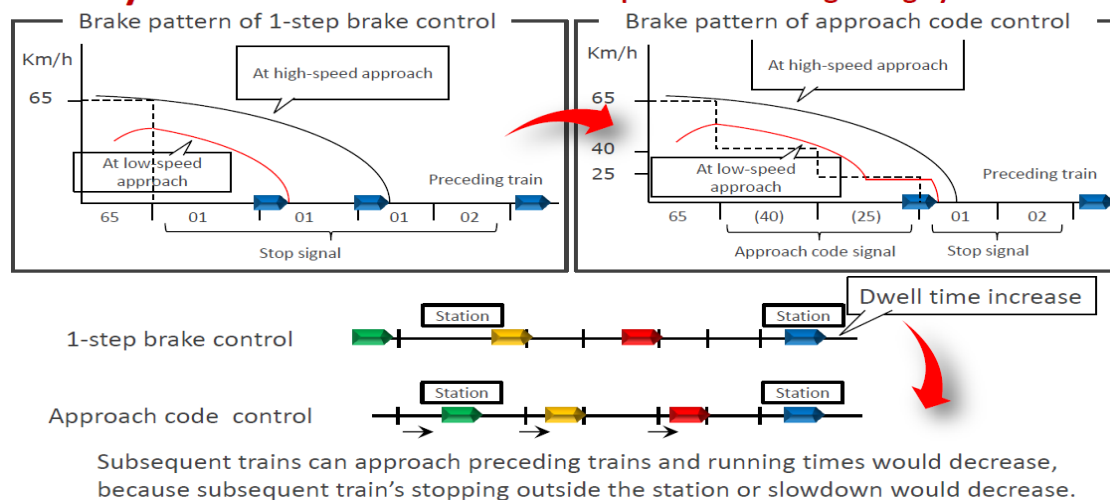


圖 18.延誤減少方法：改善號誌系統

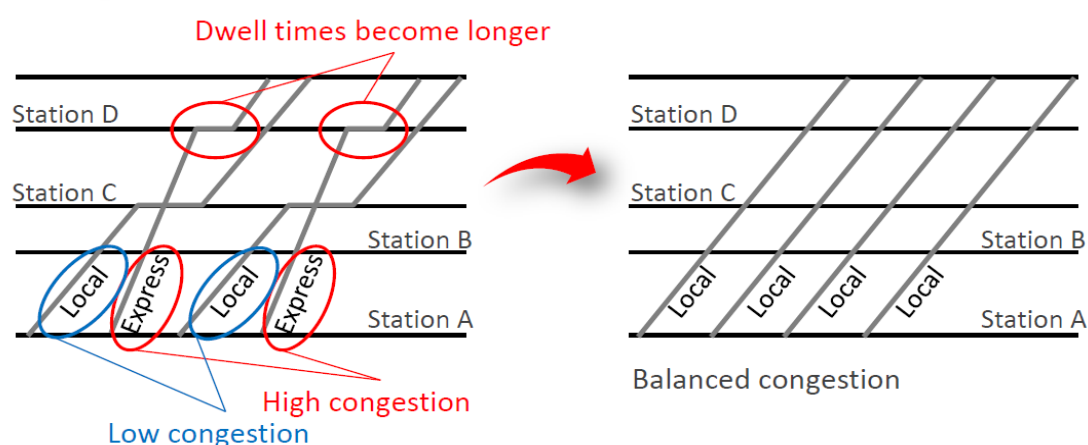
(7)分析列車運行紀錄資料

列車資料包括每日所有列車開車和抵達的時間，這些資料在列車如何運行及使用何種演算法將非常有用，可以檢視每日列車運行成效，例如：演算法可利用長期資料，指出造成延遲的原因，但這些資料是非常龐大的，必須利用一些方法使資料變得易於使用。東京地鐵導入兩種方法：一是視覺化資料法，另一是計算指標稱為餘裕空間指標(buffer index)，去判讀哪種程度的延遲會影響後續列車。

視覺化列車運行紀錄資料能即時擷取重要和有用的資料，得知何時及何處發生延遲，及如何擴散到其他列車，此外也可得知為何停留時間會在車站增加(造成尖峰時刻延誤之主因)。東京地鐵也發展出彩色的圖表，包括延遲圖表和泡沫圖表，每一區段的列車都被著色，反應列車誤點狀況，並繪製每天或長期平均延遲圖，縱軸為時間，如同正常時間間隔圖表，但沿著橫軸，與計畫預定時間有所差別之延誤列車時刻被繪製，代表若列車從起站到迄站都準點，列車線是垂直的。利用此圖，可得知何處及多久的延誤時間發生。在泡沫圖中，繪製的泡泡顯示停留時間的增加，可清楚知道何處的停留時間增加。

餘裕空間指標(buffer index)也是可調整列車時刻的指標，在列車間去設置合適的緩衝時間，使時刻表更穩定是非常重要的，並以緩衝區的數量來反映實際狀況。為了找出需微調時刻表的跡證，導入此指標，計算方法為： $(\text{出發延誤}-\text{抵達延誤})/(\text{列車間隔}-\text{最小淨空})=\text{增加停留時間}/\text{緩衝時間}$ 。假使緩衝指標大於 1，代表延遲影響後續列車，可估計延遲之嚴重性。

Delay reduction measures 5 : Modification of timetable



- Express trains have a tendency to be more congested, leading to prolonged dwell times.
- Therefore, if we change operation of express to that of local during morning rush hour, uneven congestion and delays would be alleviated as a result.

圖 19.延誤減少方法：調整時刻表

Chromatic diagram

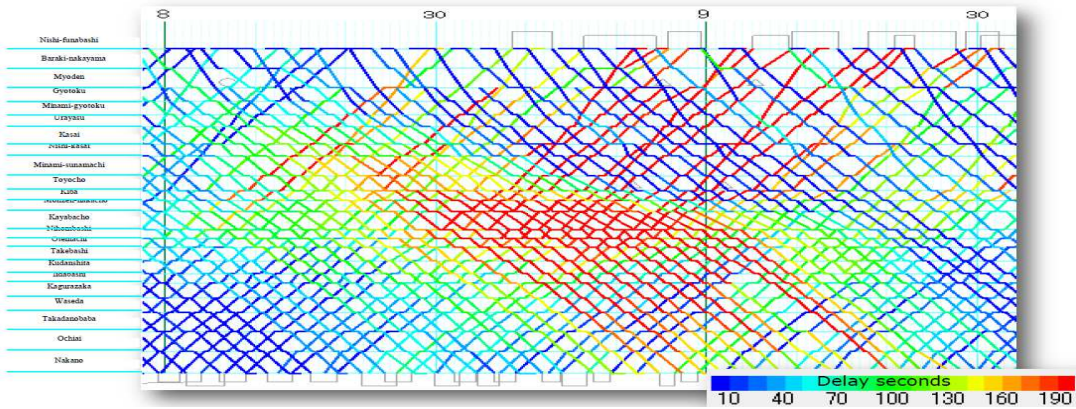


圖 20.延遲時間彩色圖表(Chromatic Diagram)

Bubble diagram

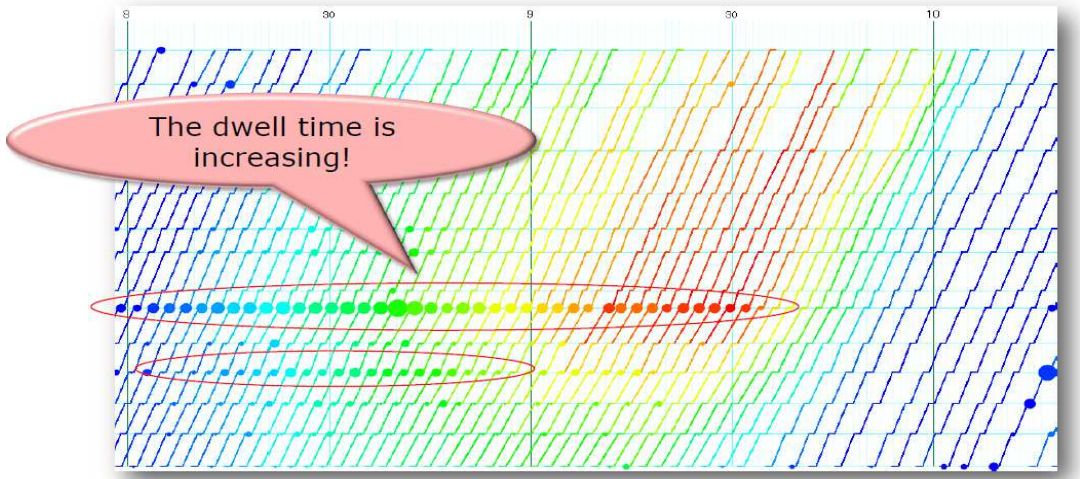


圖 21.延遲時間泡沫圖表(Bubble Diagram)

Delay diagram

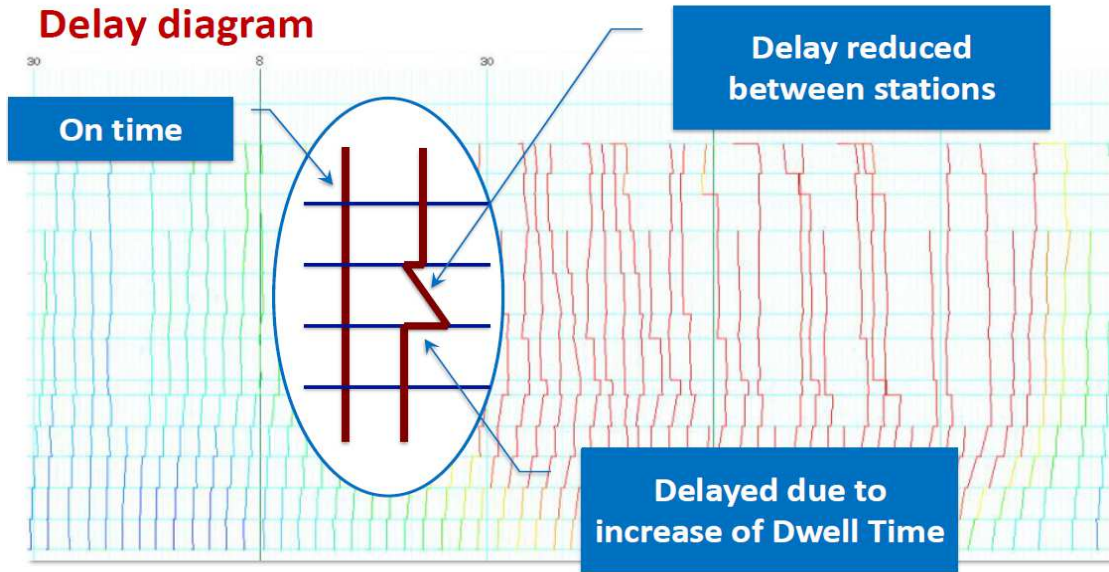


圖 22.延遲圖表(Delay Diagram)

Buffer index - index to modify timetables

We need to identify “negative effect of delay”

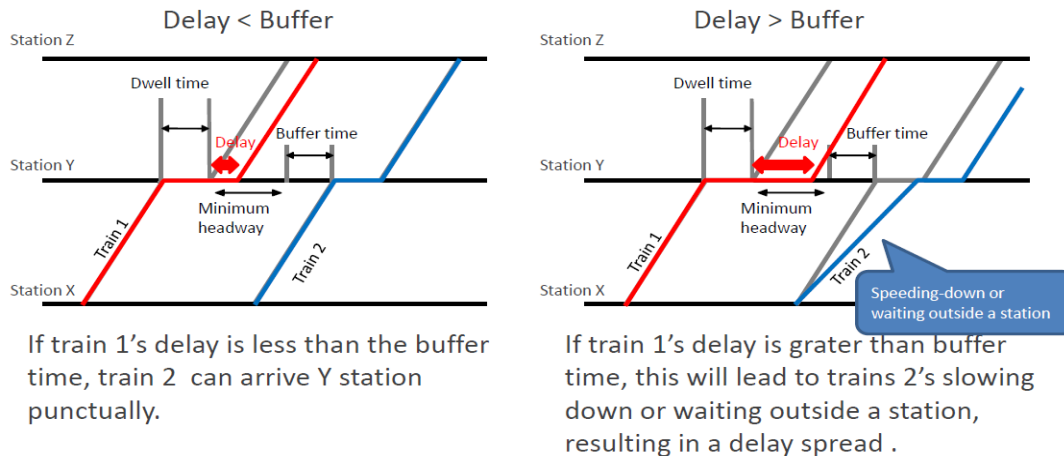
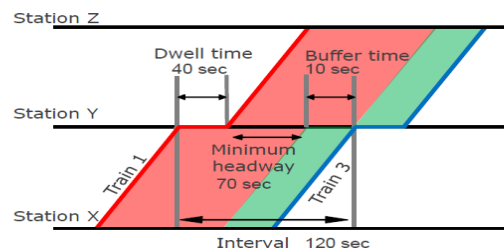


圖 23.餘裕空間指標(調整時刻表之指標)

Buffer index - index to modify timetables

Index to quantify negative effect of delay



A buffer index (BI) is calculated as follow.

$$\frac{\text{Delay (Increase of dwell time)}}{\text{buffer}} = \text{Buffer index}$$

20 sec / 10 sec = 2

So, if BI is greater than 1.0, this means that the delay is affecting the subsequent train.

圖 24.餘裕空間指標之計算

(8)以改善 Tozai Line 延誤為例

Tozai Line 在 Nakano 和 Nishi-funabashi 車站間運行，含蓋 30.8 公里範圍，介接在 Nakano 車站的 JR 線和在 Nishi-funabashi 站的 Toyo 線，這條路線每日乘客數達 1,302,000 位，在清晨尖峰時刻往市區方向的路線更為擁擠，在最擁擠的區域，其擁擠率甚至達到 199%。

在 Tozai 線往市區方向之路線，最先是彩色圖表示，在早晨 8 點過後，黃色及紅色的延遲指標陸續出現。經過在分配停留與運轉時間、餘裕空間指標上詳細的分析，關於停留時間擴張的趨勢，介於 Urayasu 站和 Kayabacho 站之間，且強度越往市中心越高；關於運轉時間的擴張，介於 Nishi-kasai 站和 Minami-sunamachi 站之間，因延長運轉時間，導致列車延誤。

因此延誤改善計畫在於落實控制停留時間和運轉時間兩方面同時落實，控制

停留時間係改變對號快車為區間車，代表增加更多區間車運轉，並使用較寬及較多車門的車廂，同時增加更多月台嚮導，讓嚮導幫助旅客快速上下車，及避免旅客被車門夾傷。改善列車運轉時間方法係改善 ATC，並在兩區段間使用合適的近似碼(approach code)。

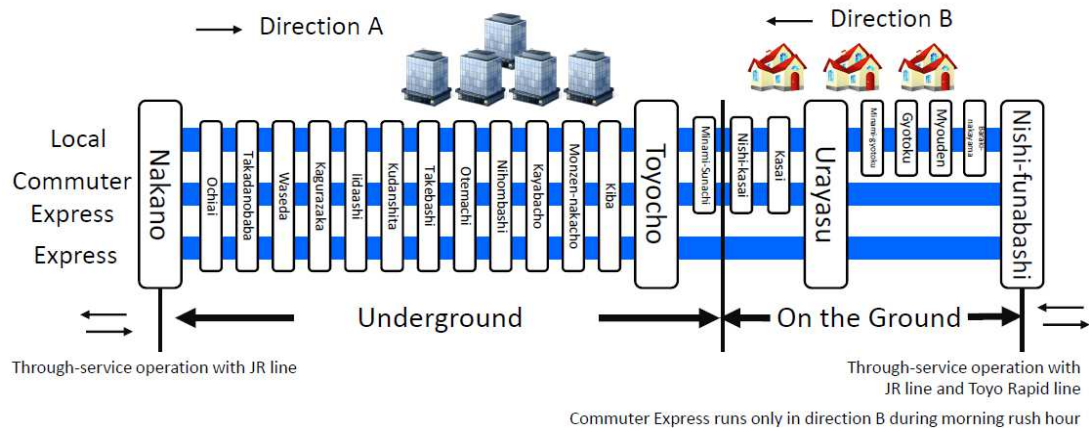


圖 25.Tozai Line 行經東京都會區最擁擠的區域，清晨尖峰時間延誤平均超過 5 分鐘，2007 年更有超過 200 個旅客投書抱怨案件

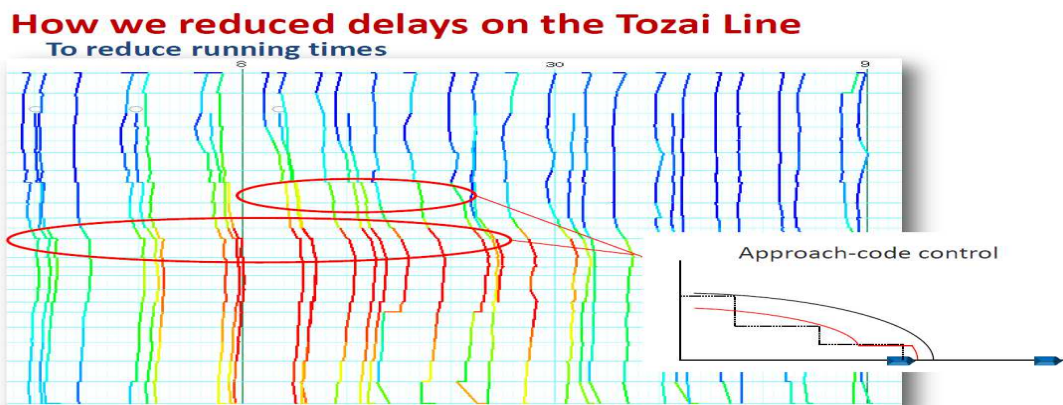


圖 26.Tozai Line 延誤減少方法：利用近似碼(approach code)

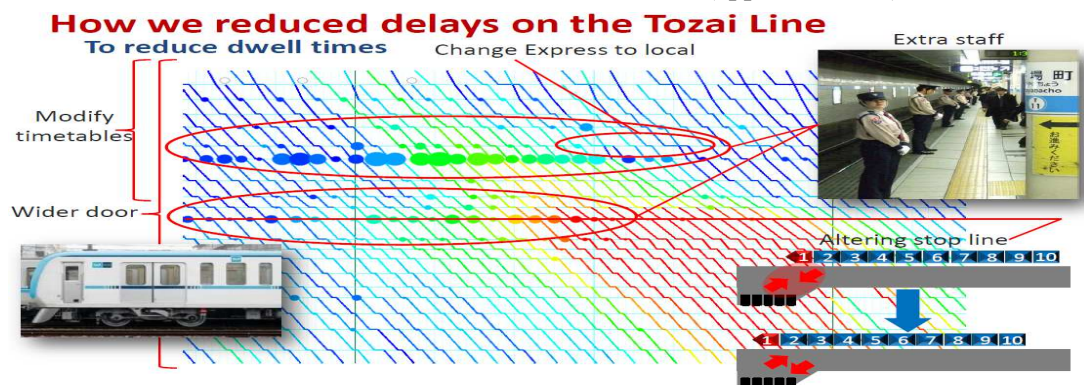


圖 27.Tozai Line 延誤減少方法：增加月台嚮導、改變車體結構及列車停車位置
(9)驗證有效度

在上述方法實施後，Tozai Line 延遲有效地被減少，且近兩年的改善更顯著，各車站誤點狀況已在研究方案實施後，有顯著改善。

2.論文題目：Making the case for a whole-system strategic approach to reliability Improvement (including reliability modeling of a specific line) (利用策略性方法提升系統可靠度，包括特定路線之可靠度模型建置)

2007 年英國鐵路產業預估，未來 30 年鐵路運輸的需求將加倍，相對地，鐵路路線容量也因此而需加倍。當時以英國西岸主線(West Coast Mainline)為例，鐵路技術策略領導集團(Rail Technical Strategy Leadership Group, TSLG)決定建置系統可靠度模型(system reliability model)來觀察當運行之列車數量加倍時，哪些具可靠度的鐵路基礎設施需要被擴建，因而建置一段從 Euston 到 Nuneaton/Coventry 之鐵路路網模型，去測試模型之可靠度和績效。

(1)可靠度之量化指標

TSLG 透過路線容量模型來量化可靠度指標，而列車準點率即是量測服務品質的最佳標準。例如：在這條路線上，共有多少列車及多少時分之延誤？多少列車因事故而被取消？其次，量測路線設施可靠度，即路線設施是否不會因故障而影響列車運行。路線設施可靠度的量化指標舉例如下：取消列車運行數、重大誤點時分、故障影響服務之平均時間、每件事務影響之路線總距離等。而列車運行之績效也有量化指標，例如：列車抵達終點是否在可容許之延誤門檻值內？列車設備是否具可靠度，包括：遇到事故後，機動反應機制啟動需時多久？主動修復需時多久？

(2)敏感性分析之量化指標

TSLG 以具有高路線容量和低可靠度表現的鐵路路線做為實際案例研究，利用敏感性分析(sensitivity analysis)測試並產生績效曲線(performance curve)，來決定系統的最適可靠度等級，並改善未來的年度移動平均公共績效量測指標 (Moving Annual Average Public Performance Measure, MAA PPM)。在減少意外事故數量上，藉由使用最佳預防性防護方法(optimal preventive protection)，制訂各種意外事故數量低限目標。包括：列車車輛因素、基礎設施因素、鐵路公司因素、基礎設施管理者因素、天氣因素、運轉因素、路線穿越或破壞因素、特殊因素等。同時也利用敏感性分析準點的路線，衡量數值包括：次門檻(sub-threshold)延遲值(延誤值低於理想分配及被信任之門檻)、邊界延遲值(列車晚點時分在模型界限上)、恢復準點時間(恢復依照時刻表運行時間和區段運轉所需時間)，藉此找出最佳化標準。

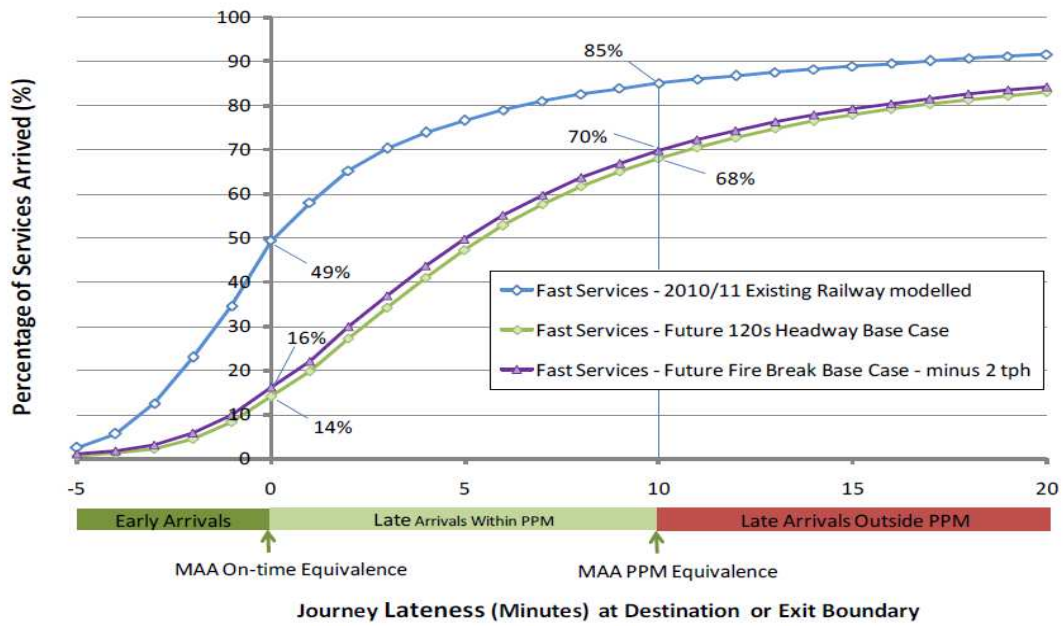


圖 28.模型之 MAA PPM 曲線，及遇到列車間距不足、火災事故之 MAA PPM 曲線

Preventative Category	Existing Incidents per day	Future Target Incidents per day	Equivalent Target MTBSAF/ MTIN
Rollingstock	6	4	30,000 (miles)
Infrastructure	4	1	17.67 (hrs)
Weather, T&V	5	2	7.89 (hrs)
TOC/FOC Operations	22	10	1.77 (hrs)
NR Operations	9	5	3.56 (hrs)
Unexplained	-	-	-

圖 29.敏感性分析之效度，未來在列車數量加倍的情況下意外事故數量反而減少

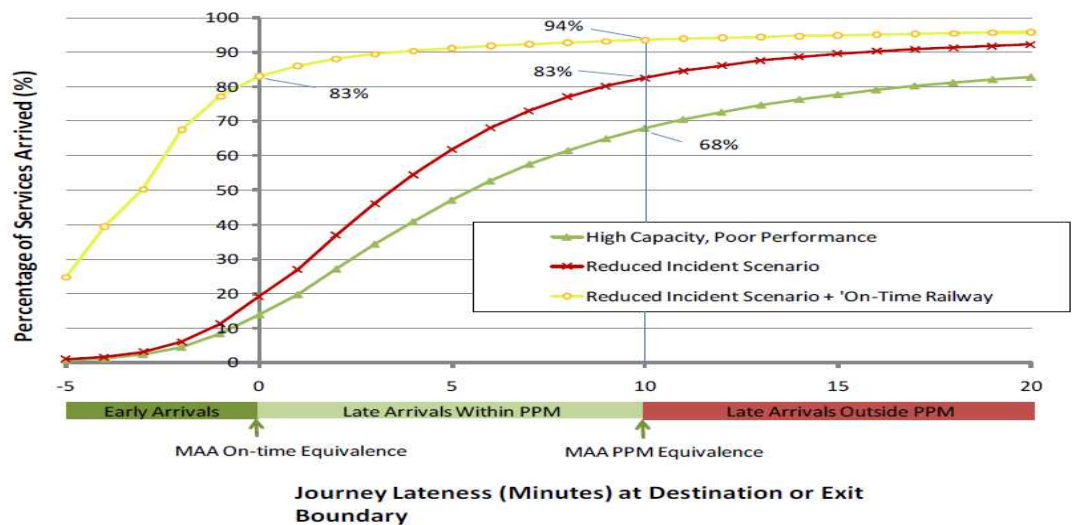


圖 30.在具有高路線容量和低可靠度表現的鐵路路線，提升其 MAA PPM 值

(3)可靠度模型之變數

在高度擁擠路線上，例如：Brighton Mainline 使用可靠度模型方法，測試其改善程度，並進一步找出次門檻延遲值及邊界延遲值。其次門檻延遲值在路線容量上由可接受每一列車 40 秒擴增到可接受每一列車 2 分鐘；邊界延遲值由可接受每一列車 8.5 分鐘，擴增到可接受每一列車 23 分鐘；恢復準點時間由區段運轉時沒有恢復時間到擴增到有 5%的恢復時間。而可靠度模型之變數如下：路線容量變數、運行速度變數、路線交叉邊界和月台再被占用之時間變數、旅程時間變數、停留時間變數、區段運轉時間變數等。

經由分析結果，在高發生意外事故頻率及造成較低影響之路線，相較於低發生意外事故頻率及造成較嚴重影響之路線，在可靠度模型將有更多改善空間。此外，在模型變數解釋能力上，英國鐵路產業需要有更聚焦之方法，去了解區段運轉時間變數、運行速度變數、路線交叉邊界和月台再被占用之時間變數和停留時間變數，以增加模型解釋力，評估路線容量及可靠度，營造更佳的鐵路運行環境。

(二)號誌、通訊和運轉(Signalling, Communications and Operations)

1.論文題目：New Train Run Monitoring system: Getting the most out of an ERTMS

Level 2 Signalling system

(新鐵路運轉監控系統：充分利用ERTMS Level 2號誌系統之優勢)

ERTMS(European Rail Traffic Management System)，歐洲鐵路交通管理系統。早期歐洲鐵路號誌互不相容，影響跨國運輸效率，1996 年由歐盟(EU)和國際鐵路聯盟(UIC)制定了統一的行車控制管理系統，稱為 ERTMS 系統。ERTMS 系統係從號誌控制、通訊傳輸與管理階層，共同規範且一致化各國行車號誌、列車控制通訊與管理標準，其標準又分為三大子系統(如下圖所示)，而依傳輸規格、所需軟硬體設備等不同，又分為 Level 1、2、3。

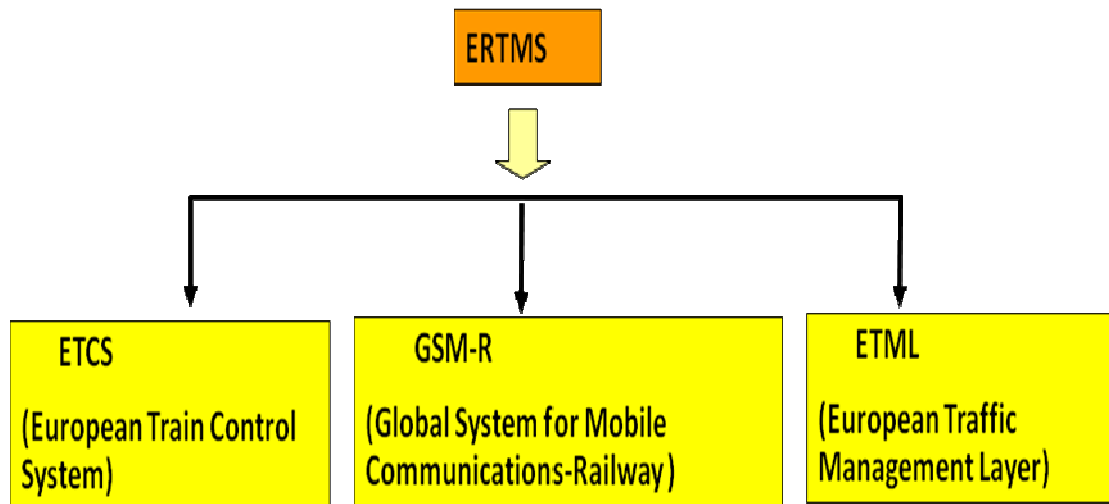


圖 31.ERTMS 下之三大子系統

(1)以丹麥鐵路為例

Rail Net Denmark 是主要丹麥鐵路基礎設施管理單位，且為泛歐洲鐵路路網 (Trans-European Network, TEN)的一部份。丹麥鐵路路網包括長距離路線(F-bane)及 CPH 郊區路線(S-bane)，長距離路線(F-bane)總長度 2,220 公里，45%為雙軌，21%電氣化，最高速度可運轉到 180km/h，有 5 條主要客運路線及 3 條主要貨運路線，每日每次列車旅客數為 1,900，每日每次貨運列車旅客數為 80；CPH 郊區路線(S-bane)總長度 169 公里，每日每次列車旅客數為 1,100。

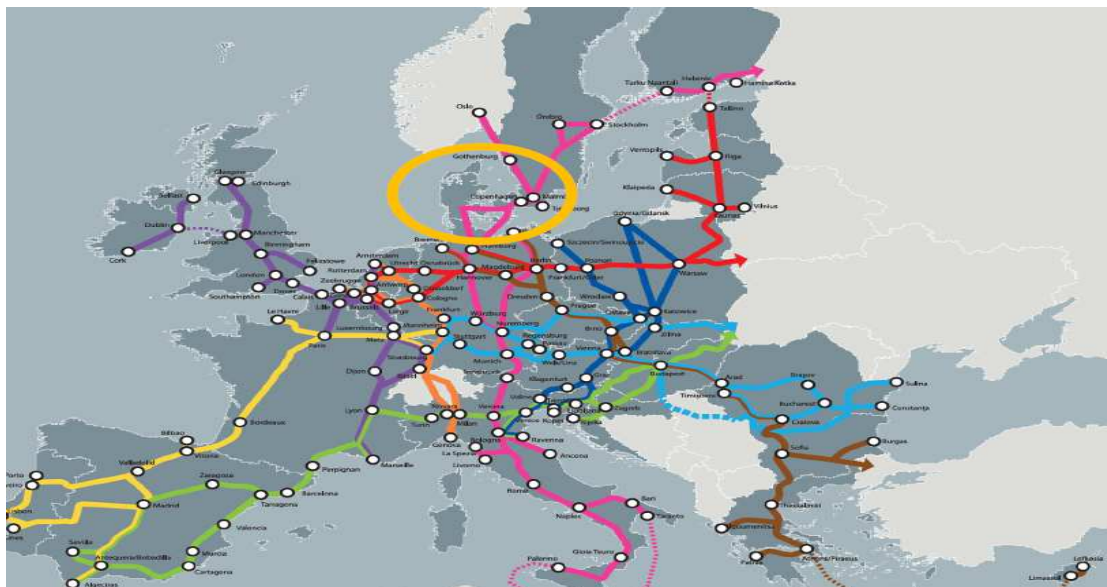


圖 32.泛歐洲鐵路路網(Trans-European Network, TEN)

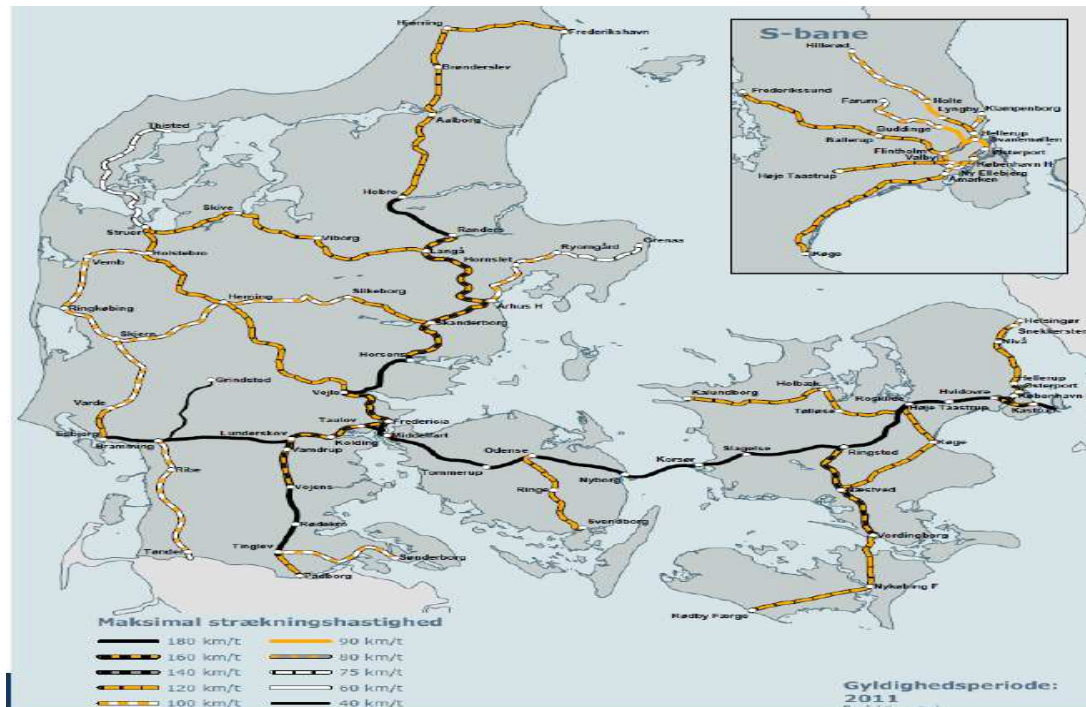


圖 33.丹麥鐵路路網，包括長距離路線(F-bane)及 CPH 郊區路線(S-bane)

(2)丹麥鐵路號誌系統所面臨之挑戰

丹麥鐵路 60%以上的號誌系統使用年限超過最終使用年限 1 至 10 年，ATC 產品生命週期在 2020 年結束，需耗時 10 至 12 年更新所有號誌系統，更多號誌系統直至今日仍有嚴重故障的風險，而 20-30%之列車延誤是由號誌系統異常引起。

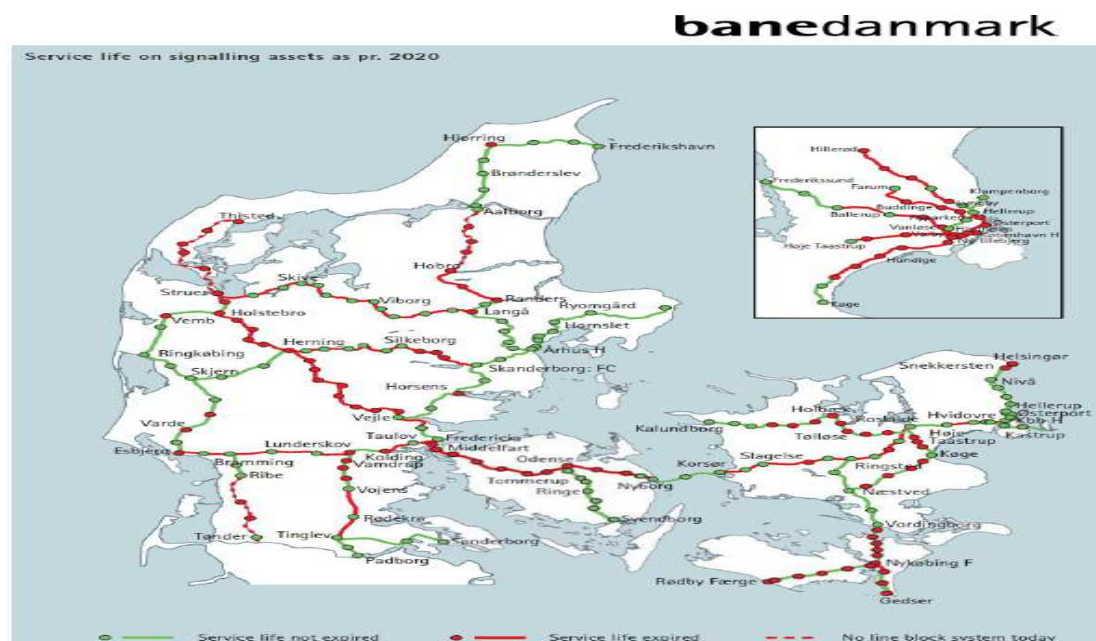


圖 34.丹麥鐵路號誌系統，綠色代表未過使用年限，紅色代表已過使用年限

(3)丹麥鐵路號誌系統之解決方案

兩種選擇方案之討論：一為逐漸汰換老舊且已屆生命週期之系統，另一為建造全新的號誌系統。而丹麥國鐵決定在 2009 年建置全新的鐵路號誌系統，使用 ERTMS Level 2 系統在長距離路網(F-bane)上及使用通訊式列車控制 (Communication Base Train Control, CBTC)系統在哥本哈根郊區路網(S-bane)上。

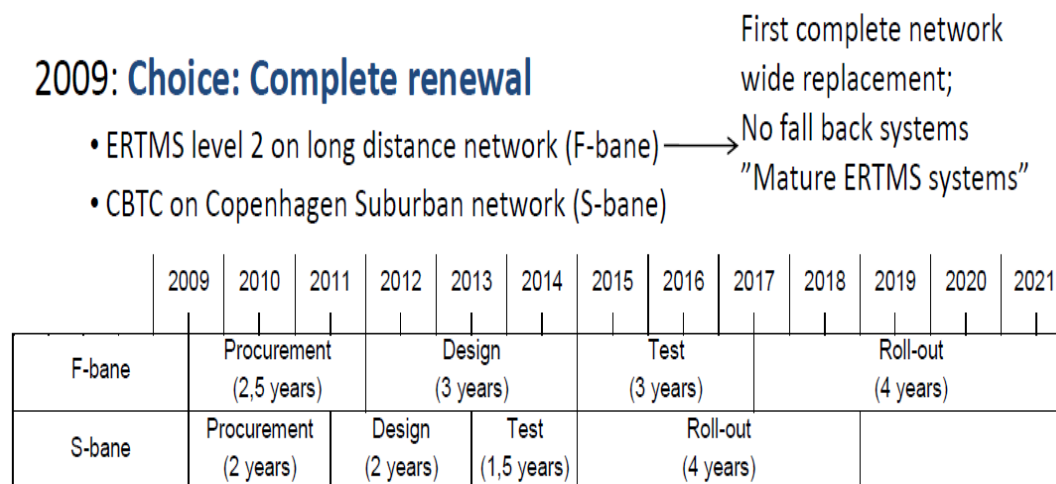


圖 35.丹麥鐵路號誌系統建置時程表

(4)建置準點率監測系統

建置準點率監測系統的目標為：增進列車準點率，利用統計方法分析列車運行資料。而正確列車運行資料之取得是很重要的工作，包括每輛列車註冊資訊、列車運行歷史資料(各站之抵達及離開時間)、延誤造成原因、延誤報告產生、資料分析之統計方法等，而使用準點率統計資料是以官方運輸部門之資料為主。並制訂列車準點運轉之改善計畫，其短期目標為找出原因，針對即有誤點缺失改善；長期目標為使用誤點資料建置統計模型，並定期驗證校準模型。丹麥國鐵現行準點率監控系統(RDS)，自 1996 年開始使用，除自動化模組外，也有許多人工自訂模組(包括：列車運行歷史資料、延誤報告等)，並在符合 UIC 規範下，偵測列車延誤事故及產生對應之代碼。

圖 36.丹麥國鐵準點率監測系統

RDS 系統會將列車運行歷史資料和造成誤點原因導入資料倉儲(Data Warehouse)，從交通管理系統(Traffic Management System, TMS)來的資料會和外界之資料，透過單一介面 Enterprise Service Bus(ESB)交換，而 F-bane 和 S-bane 的資料皆來自同一資料倉儲。一個完整的列車運轉歷史資料倉儲，可提供在執行時刻表計畫時，解決所有可能產生之問題，並有助於了解造成一個或多個誤點事件所發生之原因。而利用資料進行正確旅運時間量測也非常重要，例如：在兩個車站監控點間之旅運時間的準確度(精準量測抵達和離開時間)。

RDS 系統也會產生延遲報告，若延遲時間超過門檻值時，會自動產生報告，例如：在 F-bane 系統超過 2 分 59 秒及在 S-bane 系統超過 1 分 59 秒。但有些例外事件無法被 TMS 系統得知者，可透過人工輸入至延遲報告中，例如：調度員路徑選擇、炸彈威脅、列車路線衝突及旅客之緊急救援服務等。

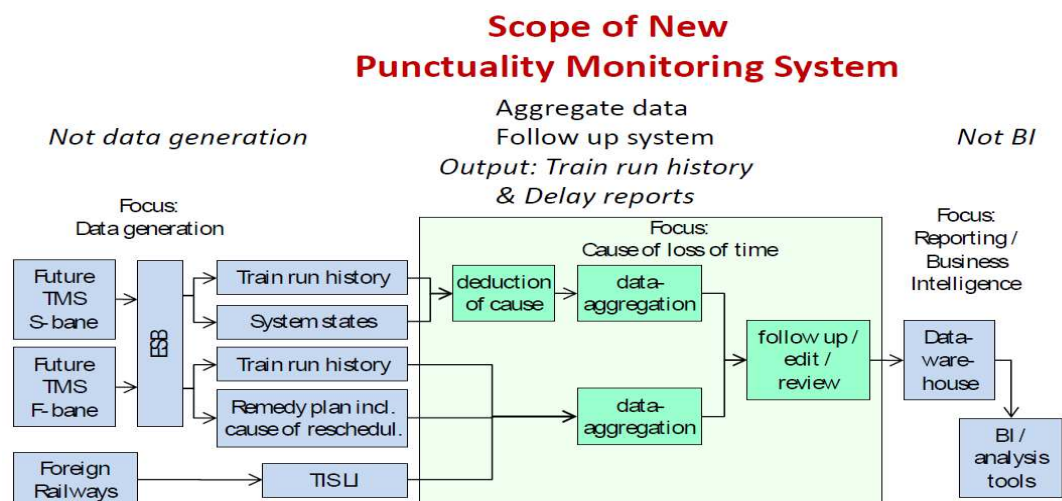


圖 37.準點率監測系統(RDS)之功能模組

(5) S-bane 路線處理列車延誤之方法

使用 CBTC 號誌系統之 S-bane 路線，處理列車延誤是透過半自動系統進行，且 S-bane 的 TMS 系統可傳遞列車運行歷史資料和一系列已知可能造成誤點的原因，系統在輸入資訊和相關限制後，可從號誌系統自動偵測，例如：當地速度限制、軌道或列車受損資訊，這些資訊都會紀錄在延誤報告上。一般造成誤點的原因其一為因速限所造成路線空間容量不足或衝突的列車路徑；另一種可能為列車沒有充分依照所給予之號誌運行，這種情況司機員將會被要求說明原因；最後一種可能是自動排程時刻表有所誤導，致準點列車反而導致誤點。

當誤點發生時，司機員會被要求說明原因，資訊將會自動透過 'Train' s On Board Unit(OBU)傳達到號誌系統，一般誤點訊息有：旅客因素、車門因素等。若誤點且訊息沒被接收到，號誌系統將自動聯繫列車的 OBU，要求說明誤點原因，在一些特殊狀況，調度員也會主動聯繫司機員，要求其說明誤點原因。

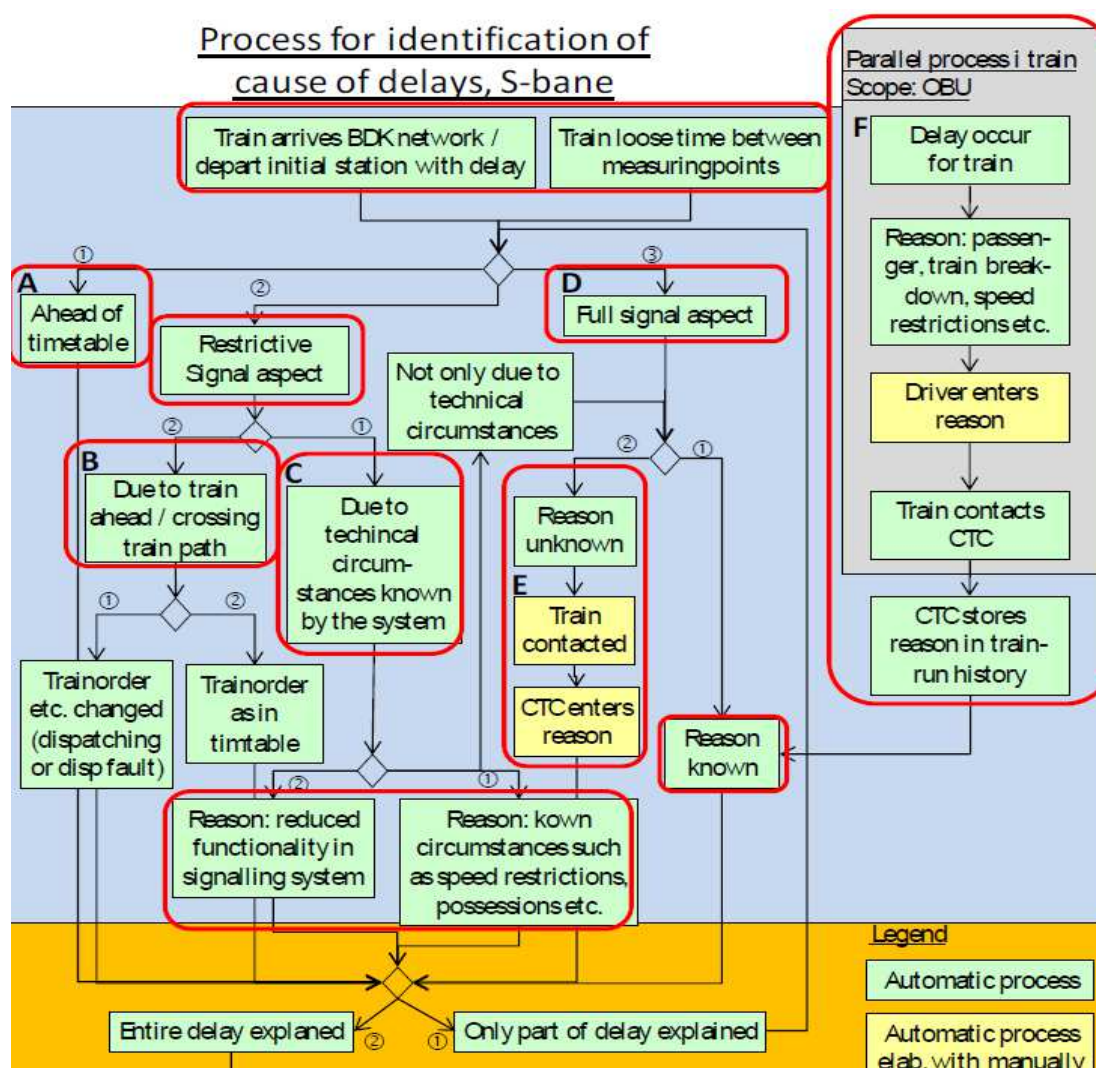


圖 38.S-bane 之誤點原因分析流程

(6)F-bane 路線處理列車延誤之方法

使用 ERTMS Level 2 號誌系統之 F-bane，處理列車延誤是透過以 ERTMS 為基礎的全自動系統，做重新排程(Reschedule)，當每次列車離開其路徑大於 7.5 秒時，新的列車路徑會被產生，即擁有自動重新排程機制，又稱為運轉及維運協調模組(The Operations & Maintenance coordinator, O&M)，此模組負責管理重新排程過程，整個過程僅需約 20 秒。

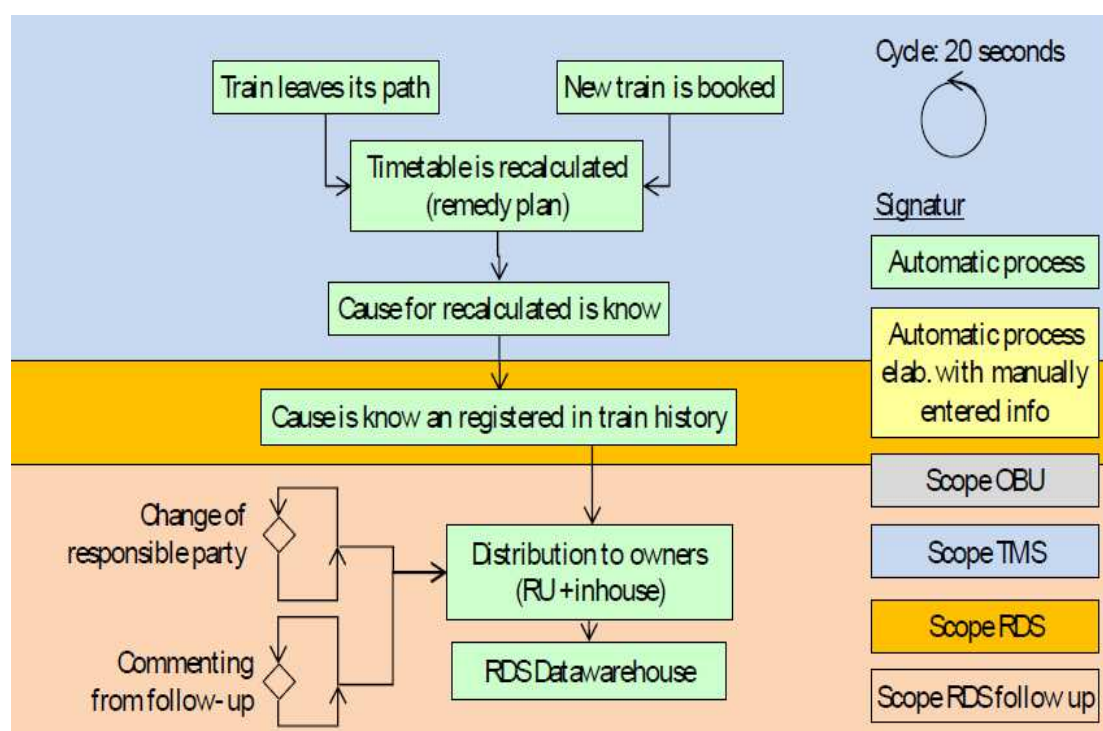


圖 39.F-bane 之誤點原因分析流程

Cause of delays a measuring point

F-bane

- Sum of new timetables

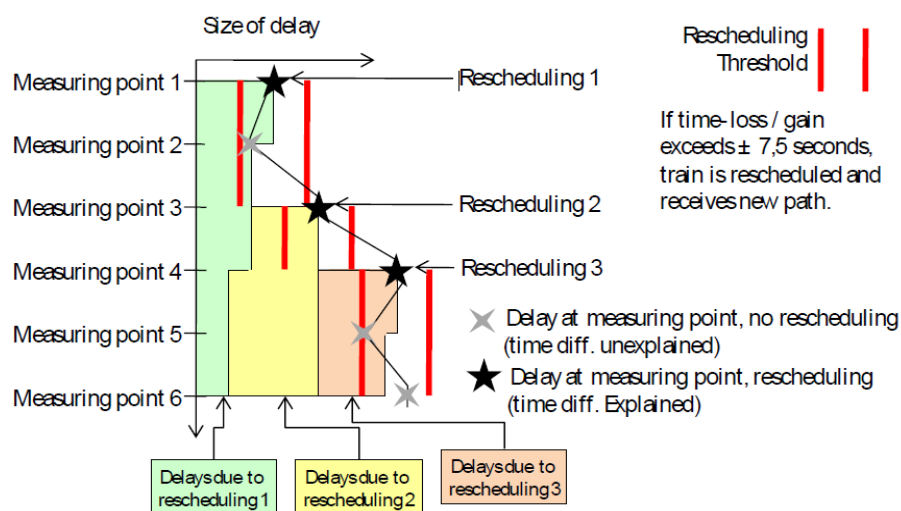


圖 40.F-bane 之重新排程流程

丹麥國鐵是第一個建置全新 ERTMS Level 2 號誌系統而取代舊系統的鐵路公司，許多國家皆想了解丹麥在這方面的成就，更希望得知丹麥使用新號誌系統後，對於列車運行資料所做的一些分析方法。在利用完整的列車運行歷史資料後，新的準點監控和誤點報告系統，在改善準點率上已獲得極大成就，未來在新運轉環境下，更多新資料來源將進入資料倉儲，丹麥國鐵依據過往成功經驗，也準備好面臨新的挑戰。

2.論文題目：Multi-carrier Handover Scheme for Railroad Communications in 4G Wireless Networks (鐵路4G無線通訊傳輸之多載波移轉計劃)

通訊技術日新月異，GSM 在鐵路中的應用為 GSM-R，常常被提到是否會被 3G 或 4G 取代。雖然電信業現在最熱門的話題是 4G 的發展，但這不表示 GSM-R 短期內會被取代，GSM-R 與固定通信網(PSTN、PDN、IP)的發展緊密關聯，與先進的智慧網絡技術是同步發展的。至於 3G 從未被考慮在鐵路的應用，因達不到鐵路的安全可靠要求，UIC 已明確表示 3G 技術不適用於鐵路。因此，GSM-R 不會過渡到 3G，反而可能直接跳到“準 4G”的 LTE-R。不可否認 LTE 是 GSM 族群中目前最先進的網路系統，在設計上就同時考慮了移動性和頻寬，確信 LTE 網絡可以提供比 GSM 更高的數據傳輸能力，所以極具未來發展性，但 5 到 10 年尚不可能取代 GSM-R。隨著無線通訊科技不斷突破與創新，新一代列車無線控制技術日趨純熟，安全性與可靠度已獲致信賴，也是當前各國高速鐵路、大眾捷運興建的熱門選擇，因此了解 4G 在鐵路運輸的發展就更為重要。

(1)各種鐵路無線通訊技術

1. Analog Trunked Road System (TRS)，類比骨幹網路系統，透過語音傳輸。
2. Terrestrial Trunked Radio(TETRA)，地面中繼式無線電，透過語音和資料傳輸。
3. IEEE 802.11 based WiFi，基於 IEEE802.11 技術之無線傳輸。
4. Communication Based Train Control(CBTC)，通訊式列車控制。
5. Global System for Mobile Communication Railway(GSM-R)，鐵路 GSM 無線傳輸
6. Unlicensed band，尚未授權的頻帶。

(2)GSM-R 傳輸結構

GSM-R 為利用 Packet 為基礎的寬頻無線網路傳輸，建構未來鐵路無線網路資料傳輸服務之主要架構，包括：LTE(Long-Term Evolution)和 EPC (Evolved Packet Core)兩種網路系統。其網路階層結構由上而下為：增值服務層(Value-added services)、EIRENE 功能層(EIRENE functionality)、GSM 供鐵路使用之增強層(GSM enhancements for railways by ETSI)、ETSI GSM 功能層(ETSI GSM functionality)。

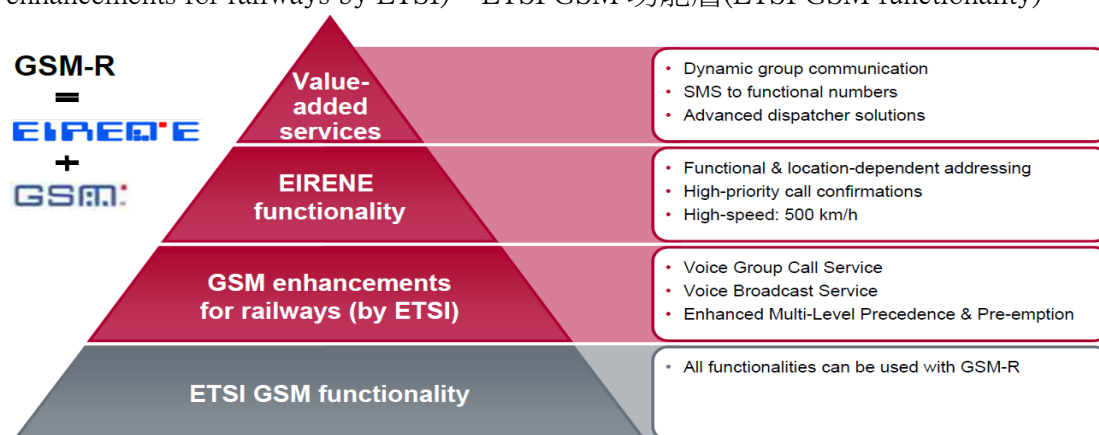


圖 41.GSM-R 之網路階層結構

(3)IMS 系統及 IP 網路

在 IP 多媒體子系統(IP Multimedia Subsystem, IMS)的服務下，使用者設備(UE: User Equipment)可透過增強節點(eNB: enhanced Node B)、行動管理單元(MME: Mobility Management Entity)、伺服器通道(S-GW: Serving Gateway)、PDN 通道(P-GW: PDN Gateway)、政策及收費規則功能主機(PCRF: Policy and Charging Rules Function)、家庭註冊伺服器(HSS: Home Subscriber Server)等軟硬體設備，連結 IMS 系統。

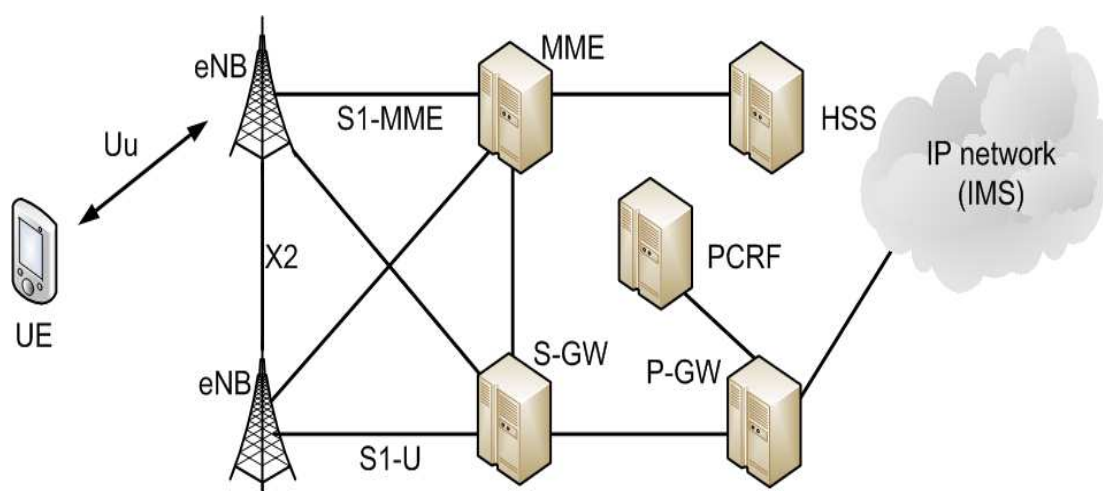


圖 42.使用者和 IMS 系統經過 IP 網路的傳遞過程

(4) LTE 網路傳輸

在 LTE 網路下，使用者可利用具 LTE-R 或 WiFi 無線傳輸的智慧型手機或筆記型電腦，直接透過 LTE-R 傳輸或經由 WiFi AP，傳輸到列車上的 LTE-R 單元傳輸裝置(LTE-R Onboard Unit)，LTE-R 單元傳輸裝置包括：列車管理控制模組、LTE-R 通訊模組等，再由單元傳輸裝置連結到 LTE 網路的控制中心，控制中心包括：列車控制系統、安全防護系統、通訊系統、旅客服務系統等。

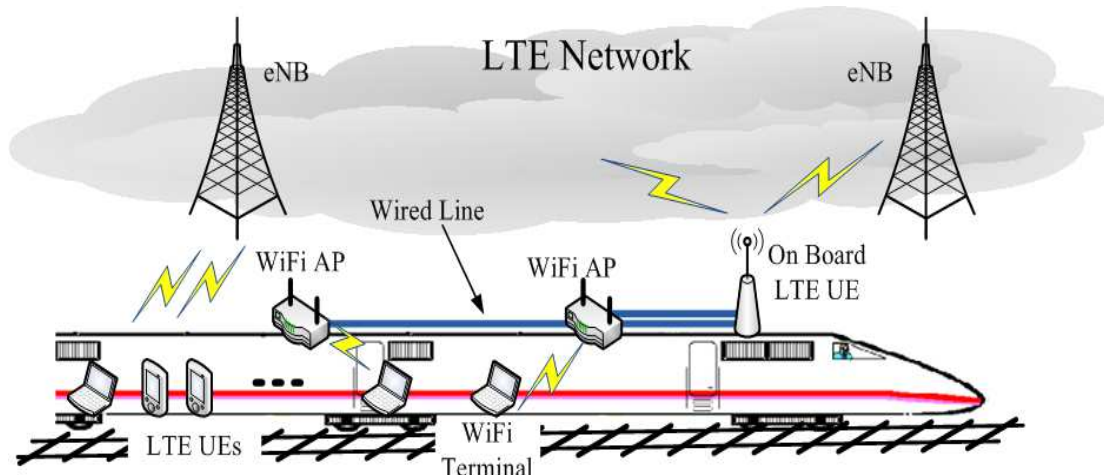


圖 43.利用 LTE 技術之鐵路通訊網路結構

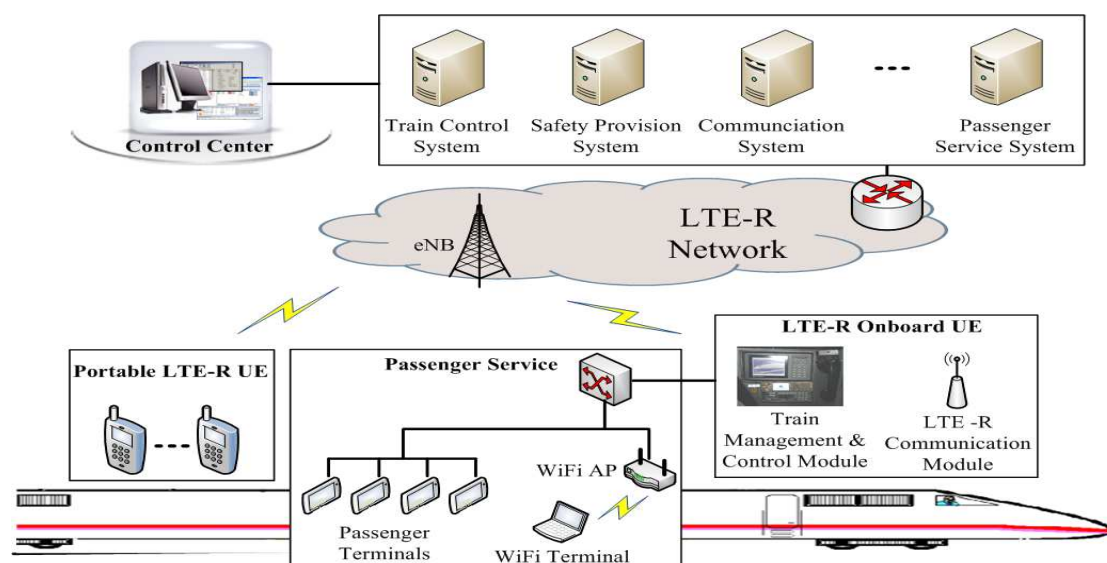


圖 44.利用 LTE 技術之鐵路通訊網路設備

(5) LTE-Advanced 網路傳輸之載波聚合

LTE-Advanced 之載波聚合(Carrier Aggregation, CA)，是利用許多連續和不連續的多重載波聚合，藉此提高資料利用率。在 100MHz 的頻寬下，可以有 5 個聚合後之載波，也符合各階層(如：ITU 和 IMT-Advanced 階層)之傳輸表現需求。CA 之種類有：Intraband Contiguous、Intraband Non-contiguous、Interband 等。

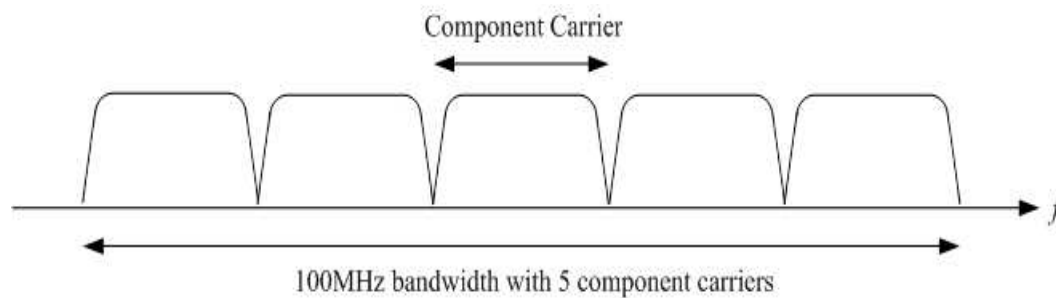


圖 45.LTE-Advanced 載波聚合之概念

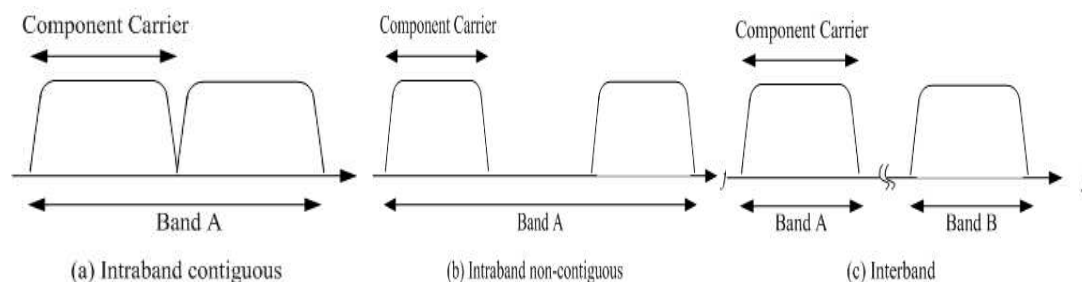


圖 46.載波聚合之種類

(6)利用列車前後端通訊模組之傳輸架構

列車行進時，利用在列車前端和後端之通訊模組來傳輸資料，並使用資料傳輸流和控制訊息流區分方法。列車前端天線接收到由目標基地台(Target eNB)傳輸之資訊，後端天線接收到由服務基地台(Serving eNB)傳輸之資訊，其通訊模組在前端天線之網路階層由上而下為：NAS、RRC、PDCP、RLC、MAC、PHY，其通訊模組在後端天線之網路階層由上而下為：Upper Layers、IP、PDCP、RLC、MAC、PHY。

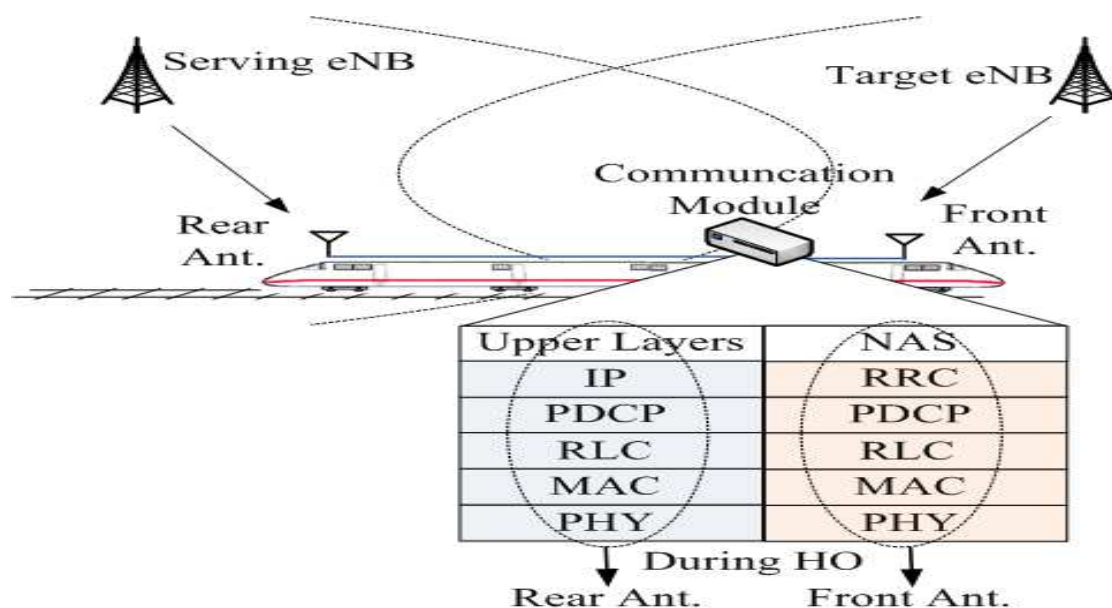


圖 47.列車通訊模組之傳輸架構

4G LTE 無線通訊被視為下一代的 GSM-R 系統，LTE-R 也被預期是提供未來鐵路運輸服務的主流，研究發現 LTE 無線傳輸服務會因資料交換而有中斷情況發生，但資料交換處會因載波聚合而連結進而增強，所以多重載波聚合的技術是很重要的。而列車行進間的資料交換，也會因資料傳輸流和控制訊息流之區分，而增強資料傳輸訊號。

(三)系統和資訊(Systems and Information)

1.論文題目：Increasing Stations and Junction Capacity within existing infrastructure constraints

(在既有基礎設施限制下，增加車站和路線交會處之路線容量)

鐵路路線容量隨列車密度增加而逐漸減少，且通常受限於路網節點(路線交會處和車站)，希望能透過改善時刻表和路線股道選擇，讓路線容量得到更好的利用。研究發現，可利用資料數值分析及發展模型，去改善路線空間，並充分利用列車路線運行的定序資料，發展電腦排點之時刻表技術。從既存節點出發去發掘，延伸至更寬廣路線容量之可能性。因為路線容量是抽象，是難以捉模及量化的資料，難以去精準定義及量測，而需綜合許多因素，例如：鐵路基礎設施、列車運轉表現、準點率、時刻表排定等。在路線利用率上，需發現哪些潛在路線容量可被利用，並依據 UIC406 之規範，衡量路線利用指標(CUI)。

Extending the CUI Approach

Illustration of General Technique

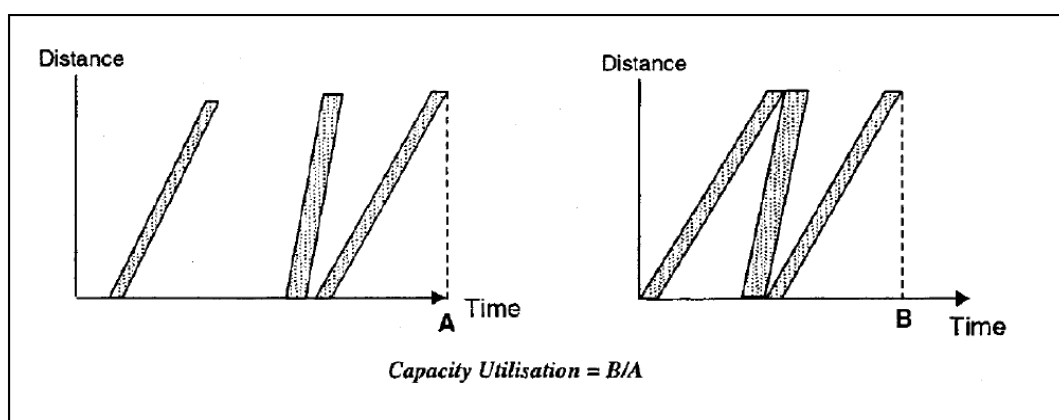


圖 48.路線利用指標(CUI)及路線利用率計算

(1)在既有路線設施限制下，最大化路線容量

導入系統自動化(automation)技術，自動化技術可快速應用在既有路網上，進而彈性變更路線容量大小及延伸度。其相關技術包括：利用系統計算路線和節點(車站和路線交會處)之容量利用率、利用系統資料分析及檢視時刻表資料、透過系統紀錄且分析整合各節點之列車運行狀況。尤其在早晨兩小時的通勤尖峰時間，需詳細的紀錄列車節點之路徑及區域路網之連結，以了解運行速度是否因尖峰時間因素而下降。

此外系統在路線壅塞時，可重新產生替代路線和重新產生列車時刻表，發現路線瓶頸節點時，也可極大化節點路線空間率，並減少等待時間及增加服務品質和可靠度。在路線寬鬆時，也可釋放多餘空間給額外的列車服務。研究並導入 Job Shop Model with Time Windows 之時間窗模型(列車=Job、鐵路節點=Shop、列車移動=Operation)，時間窗模型可依不同列車來計算多種類的路線容量彈性，例如：對號車、區間車、貨車等。

時間窗模型有三種類型：Hard Time Windows 主要利用在長程旅客服務，Regular Time Windows 主要利用在區域旅客服務，Soft Time Windows 主要利用在貨運服務。時間窗模型也可複製既有路線服務模式至加班列車上。

(2)建置啟發式模型(Heuristic Model)

啟發式模型便於找出原始最佳解，減少列車等待時間，減少路線空間利用率。兩階段啟發式模型是利用所謂「非決定性多項式問題方法」(NP-hard, Non-Deterministic Polynomial)去產生最佳解。例如：在加班列車排班上，插入序列啟發變數，以產生原始最佳解。啟發式模型並利用 Tabu 搜尋法去改善求解值及利用 CPLEX 解法去最小化服務頻率變數。

(3)鐵路基礎設施之改變

鐵路基礎設施之擴建，可改變路線既有之不規律型態，有效減少兩列車間距離及時隔。例如：在通往倫敦的主線上，90 秒的列車時隔是必須的，但在 Peterborough 和 Huntingdon 路段間，受限於僅有兩股道之路線限制，此時就需由鐵路基礎設施技術去改變現況。例如：加裝高速轉轍器。在擁有不足路線容量之繁忙路線，安裝高速轉轍器，但在路線容量充足時，改變鐵路基礎設施是浪費且無立即效益的。

Scaling Up: ECML Huntingdon – Peterborough - ...

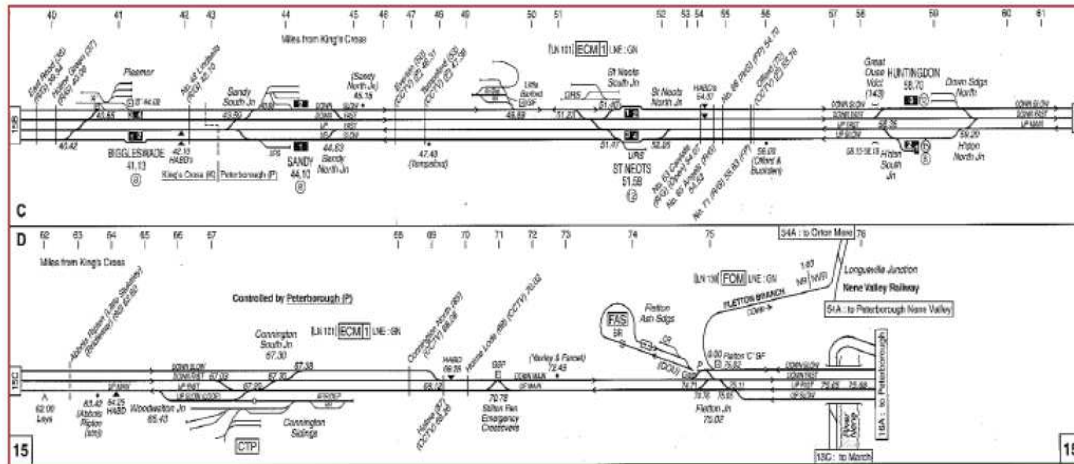


圖 49.在 Peterborough 和 Huntington 路段間，加裝高速轉轍器

Extending the CUI Approach

Scaling Up: Peterborough Area Detail

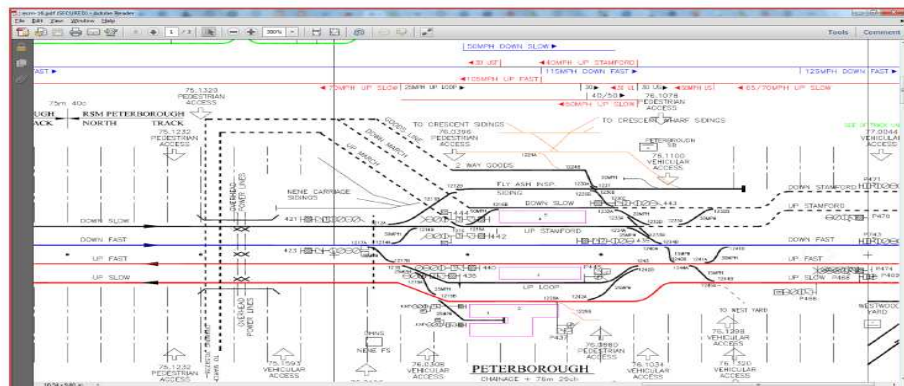


圖 50. Peterborough 車站加裝高速轉轍器後之股道圖

藉由研發新模型方法、節點空間利用率再評估及列車路線重新制定、重新產生時刻表，來減少路線空間利用率浪費，且在改善可靠度和增加路線容量之政策實行後，獲得更有效且低的(23%-26%)路線空間利用率成果。在模型最佳化數值下，檢視若增加額外列車服務之情況，重新制定時刻表可減少列車等待時間，在較不忙碌的路線，也允許導入更多額外列車服務。至於改變路線基礎設施，對路線空間利用結果的影響程度是有限的，除非在非常繁忙的路線上，才會見到其效果。

2.論文題目：Innovative platform for interoperability of multimedia applications on board trains paves the way for better services and new market perspectives (車上互動多媒體應用之創新平台可提供較佳服務及新的市場觀點)

車上互動多媒體應用之創新平台建構於新科技之多媒體及資訊通訊技術上，其一般之設備服務包括影像監視器(CCTV)、旅客導向服務、駕駛及行車人員導向服務、訓練和維修人員導向服務等。有別於以往傳統列車只設有車廂螢幕顯示器，影像監視器可監控列車及車廂的狀況；旅客導向服務可提供旅客無線上網、列車動態、影音收視等服務；駕駛及行車人員導向服務可讓車上工作人員透過資訊即時整握列車狀況、即時處理相關問題；訓練和維修人員導向服務在列車故障發生時，可即時傳遞相關訊息，讓維修人員在第一時間排除列車問題。車上互動多媒體應用之目的為，讓鐵路成為更吸引人及更有競爭力之交通運具。

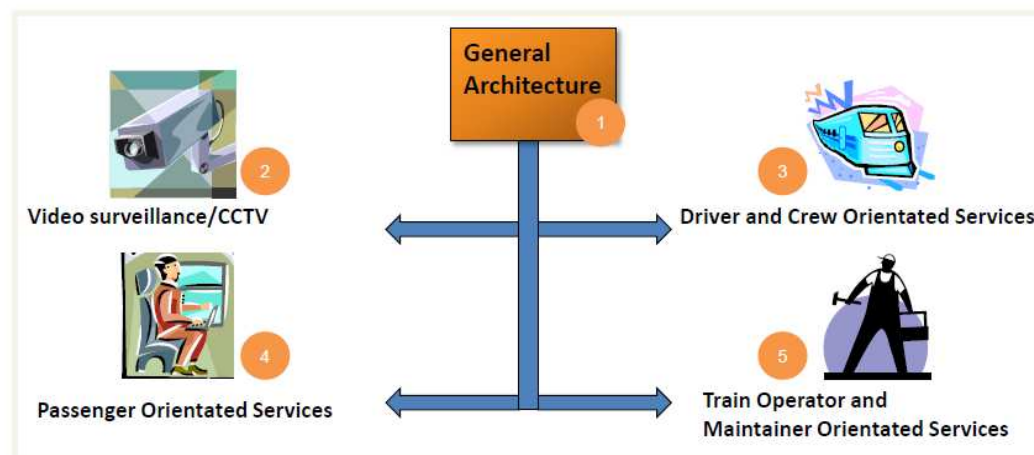


圖 51.車上互動多媒體應用之創新平台可提供之服務

(1)模組化和標準化

現今之車上互動多媒體應用之產品，大多有其特定的資訊和通訊技術，缺乏整合性，安裝於列車上常因模組及介面不同，而產生系統不相容之問題，整合效果差，需長時間才能安裝測試完成，也常發生後續系統整合及維修測試成本偏高的情況，為了解決這些問題，現今市場需模組化和標準化的整合系統平台產品。其優點為，利用標準基礎元件，在設計和發展上更快速、更便宜，安裝和設定更簡易，系統整合和測試易於施行，單一元件易於以其他標準化元件替換等。而歐盟鐵路在推動車上互動多媒體平台整合時，以三大要素：標準化、規範化、研究力為準則。標準化精神為訂定標準技術報告；規範化精神為政策、主管機關指令等相關鐵路規範；研究力精神為策略、方法及技術。

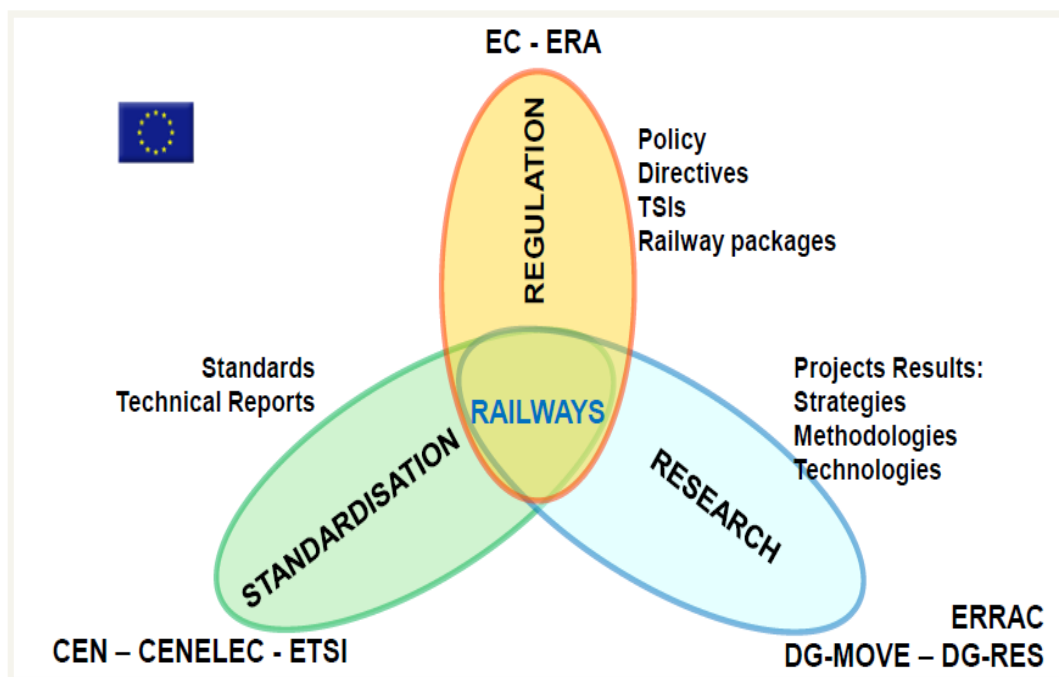


圖 52.歐盟鐵路車上互動多媒體平台整合之三大要素：標準化、規範化、研究力

(2)互動多媒體平台系統架構

最上層為應用層，分為四類：CCTV、駕駛和行車人員、旅客、運轉和維修人員；其次為服務層，分為服務定義及服務導向架構；其次為通訊層；最下層為 TCN STACK 之實體層。

A service oriented architecture

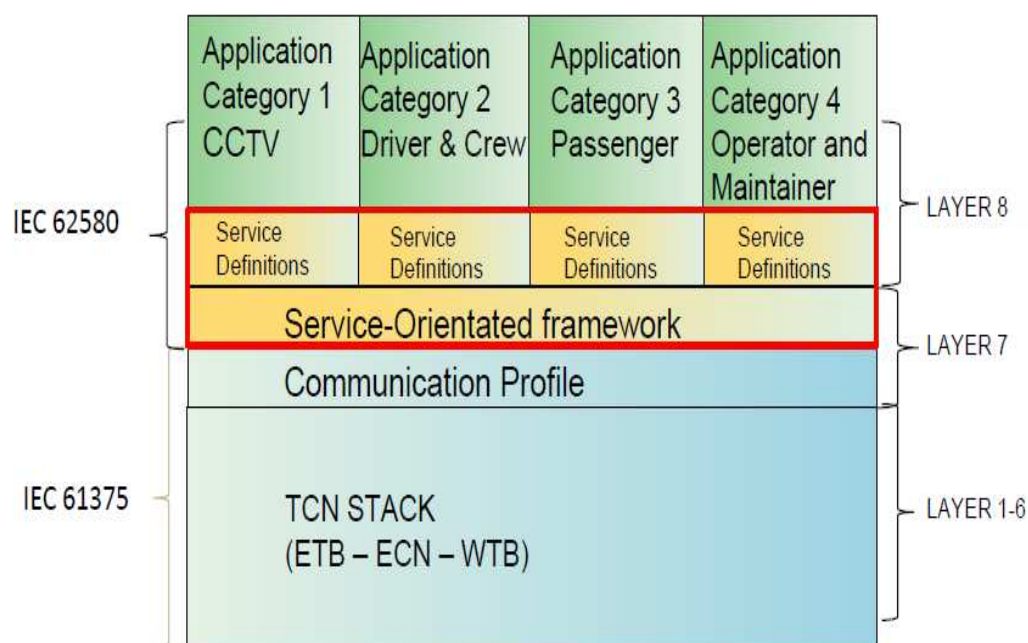


圖 53.互動多媒體平台系統架構

(3)資訊服務傳輸架構

服務架構主軸為中介軟體原件(Middleware)，是實體層(Application)和通信層(Communication)的中介介面，透過 Web service(WSDL)及 XML 格式，在服務提供者及收取者間傳遞訊息。鐵路環境之限制為列車上之資源限制，即需要在車上架設標準化通訊軟硬體設施，例如：壓縮、解壓縮之編碼硬體，傳遞 XML 語法及 SOAP-WSDL 服務之軟體，提供網路服務之設備(Devices Profile for Web-Services, DPWS)等。

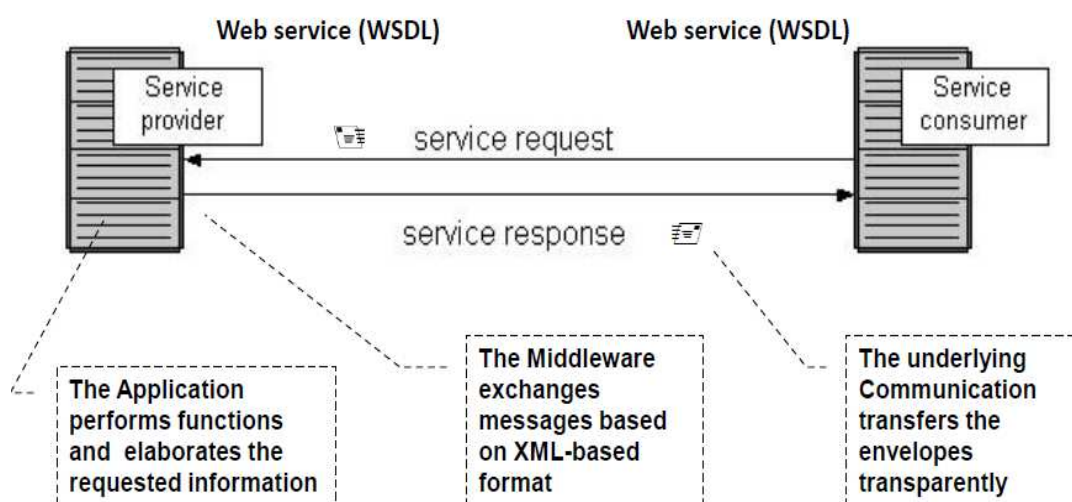


圖 54.互動多媒體平台資訊服務傳輸架構

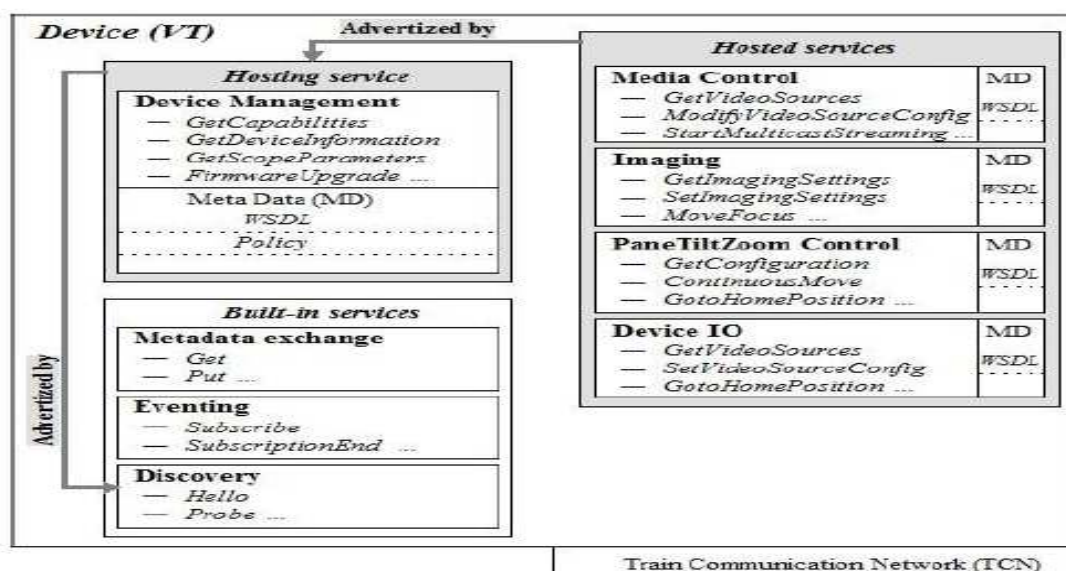


圖 55.CCTV 影像監視器之傳輸架構

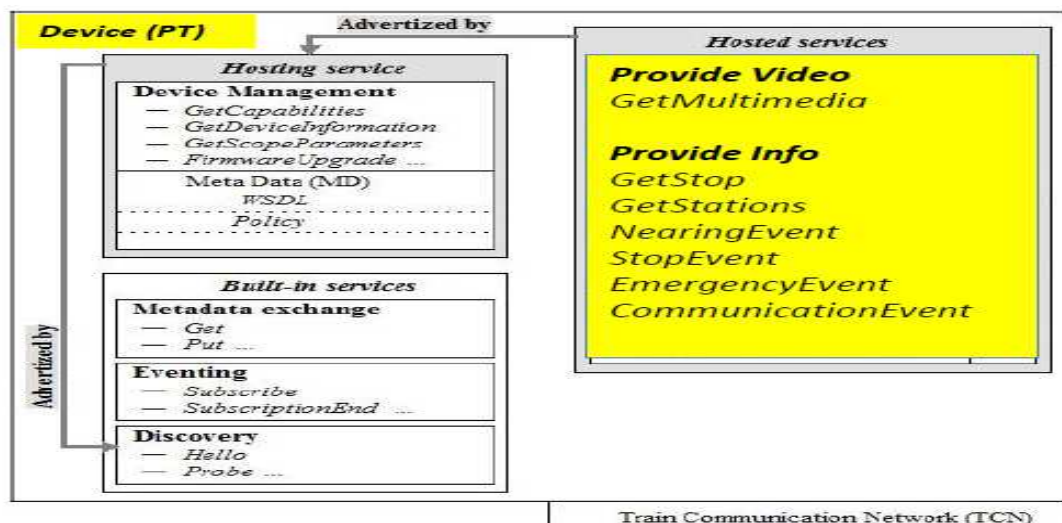


圖 56.旅客娛樂及資訊系統(Passenger Entertainment and Information System, PEIS)之傳輸架構

(4)建立標準化流程

建立標準流程之好處為：在現存設備及系統建立標準化之虛擬資料傳輸層、減少市場進入障礙、減少研發和整合成本、開放標準規格讓多媒體平台服務可長期使用、整合相互運作之元件、減少維修成本、易於遠端診斷、設備易於替換、減少存貨、易於跨國界之經營者建立系統、使用共同系統語言、避免產生過多傳輸介面、建立附加價值、產生新市場商業契機等。目前標準化流程階段為邁入 FDIS 階段，並遵循 IEC-62580-1 及 EN62580-1 標準，未來並企盼依 IEC 標準，在列車網路及通信服務建構更完整架構。

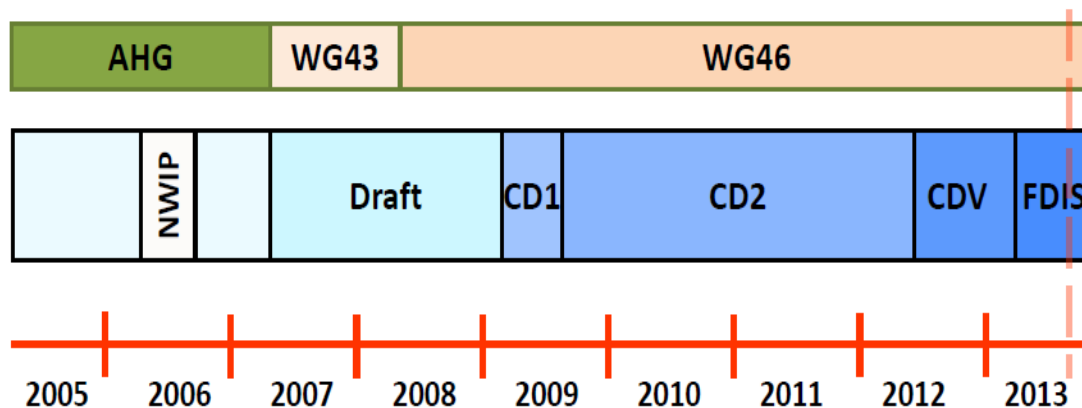


圖 57.目前車上多媒體平台標準化流程階段

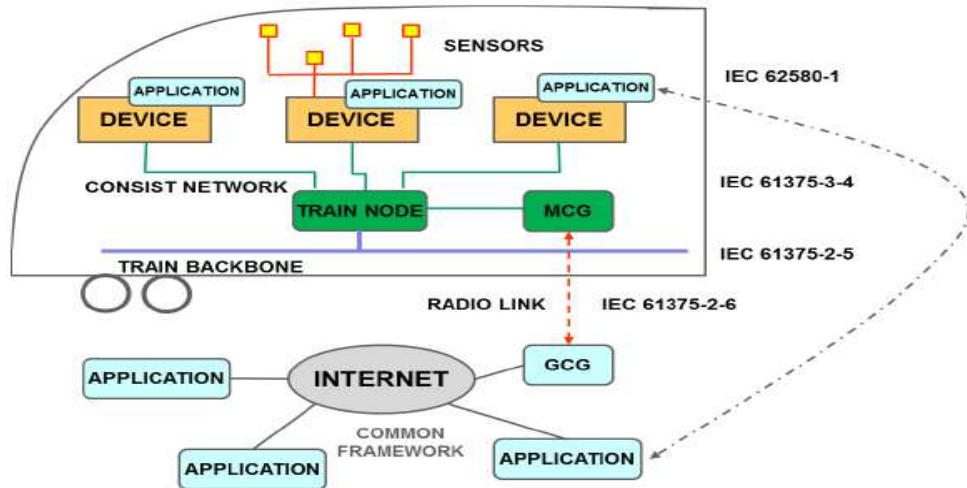


圖 58.未來依 IEC 標準，建構之列車網路及通信服務架構

(四)客貨列車(Rolling Stock)

1.論文題目：Development of a limited express sightseeing train adapted to the local region and practical implementation of a vertical vibration reduction system (建立減少垂直震動列車系統在區域對號觀光列車上)

為促進日本九州觀光，JR九州在2011年3月計畫在觀光區域推出傳統觀光對號列車服務，並和九州新幹線連結。營運路線為指宿枕崎線(Ibusuki Makurazaki Line)，使用窄軌1,067mm之軌距，起點為九州南部與新幹線共構之鹿兒島車站，行經指宿，終點為枕崎，全長為90公里，沿途有許多九州著名觀光景點。然而由於這條路線過往的維修經費不足，軌道面的不平整會產生很大的垂直震動，造成乘坐的不舒適，而維修整個路線軌道需龐大費用，故計畫研究以改善列車結構，減少列車之垂直震動為目標。



圖59.指宿枕崎線列車外觀



圖60.指宿枕崎線列車外觀



圖61.列車頭等艙客車車廂



圖62.列車頭等艙餐車服務檯



圖63.列車貳等艙客車車廂



圖64.列車圖書室



圖65.列車孩童座椅



圖66.列車除霧裝置(霧由車門上方排出)

(1)列車轉向架

轉向架(Bogie)，又稱台車(來自日文)，是鐵道車輛上最重要的部件之一，它直接承載車體自重和載重，引導車輛沿鐵路軌道運行，保證車輛順利通過曲線，並具有減緩來自車輛運行時帶來震動和衝擊的作用，因此轉向架的設計也直接決定了車輛的穩定性和車輛乘坐的舒適性。每組轉向架多擁有2或3條車軸，並常安裝在列車車廂前後部。當列車經過彎道時，前後兩組轉向架會順著軌道之曲線轉動，使列車能靈活通過彎道。如果是電力/柴油電力鐵路機車或者是動力分散式車輛的動力車卡，轉向架的每條車軸則設有電動機。三軸轉向架多出現於鐵路機車

車上，其好處是牽引力高及黏著力強，但這種設計會降低通過急彎的靈活性，且對輪軸的磨耗也較高。為增加這類機車的靈活性，因此出現了「徑向轉向架」，即單一架子的前後車軸可以轉向。JR九州在減少垂直震動上即以改善列車轉向架之可變動式垂直阻尼器(variable vertical damper)為主，並在每趟列車入廠後，會詳細檢查的轉向架，測試其功能，並在後轉向架(rear bogie)上之地板層，加裝加速動力分配裝置(PSD)，PSD被設計在平均營運速度每小時73公里下運作。



圖67. JR九州列車之轉向架

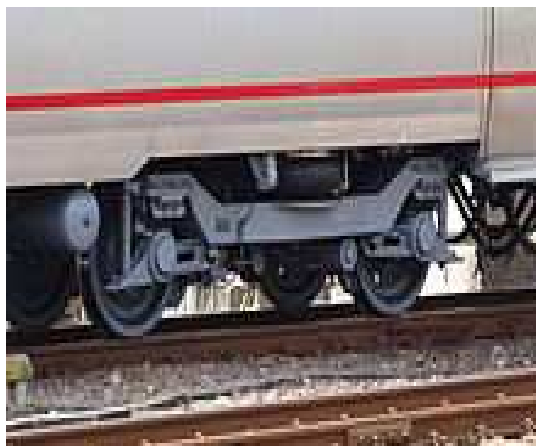


圖68. 臺鐵PP自強號列車之轉向架

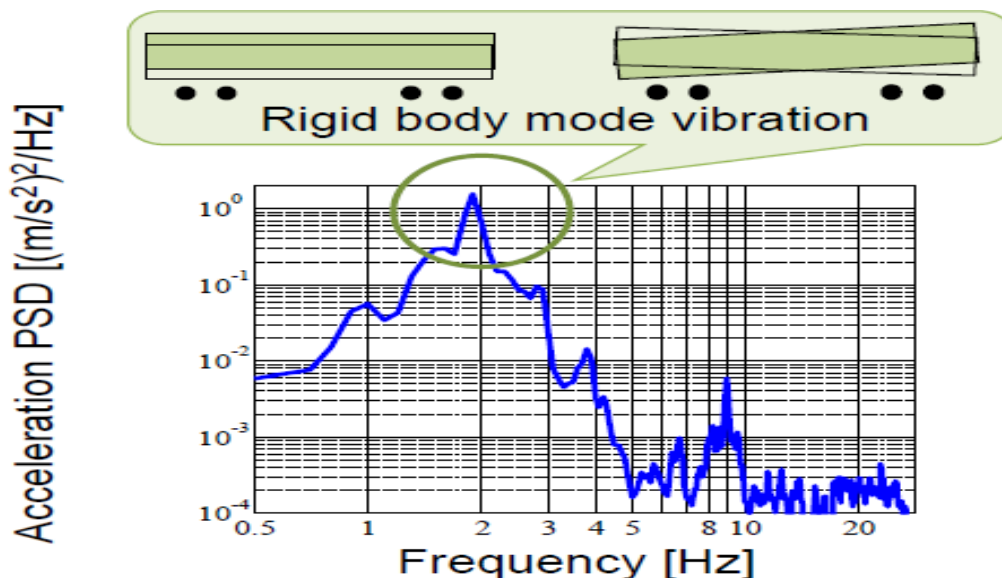


圖69. 加速動力分配裝置(PSD)在高頻率下之運作

(2) 列車阻尼器

阻尼(damping)是指任何振動系統在振動中，由於外界作用(如流體阻力、摩擦力等)和系統本身固有的原因引起的振動幅度逐漸下降的特性，以及此一特性的量化表徵。阻尼器或避震器是一種利用阻尼特性來減緩機械振動及消耗動能的裝置。JR九州在整個垂直震動控制系統架構中，加裝控制單元(control unit)，以偵

測運轉速度和方向，並連動加速測量器和變動垂直阻尼器，可依不同運轉速度及方向，調整加速測量器及變動垂直阻尼器之運作，並在減少垂直震動上，改善列車轉向架之變動垂直阻尼器。

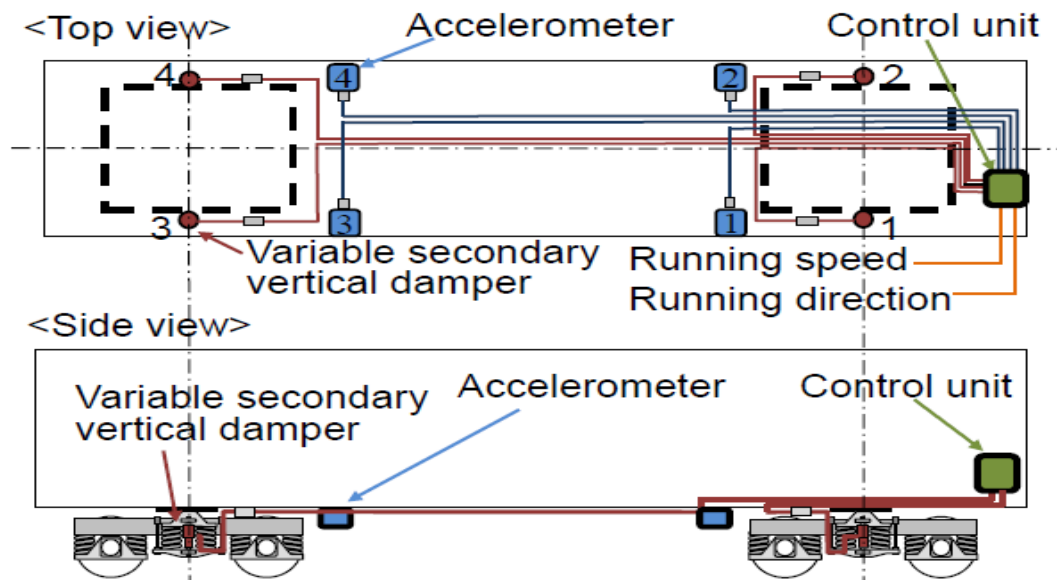


圖70.列車控制單元與加速測量器、變動垂直阻尼器

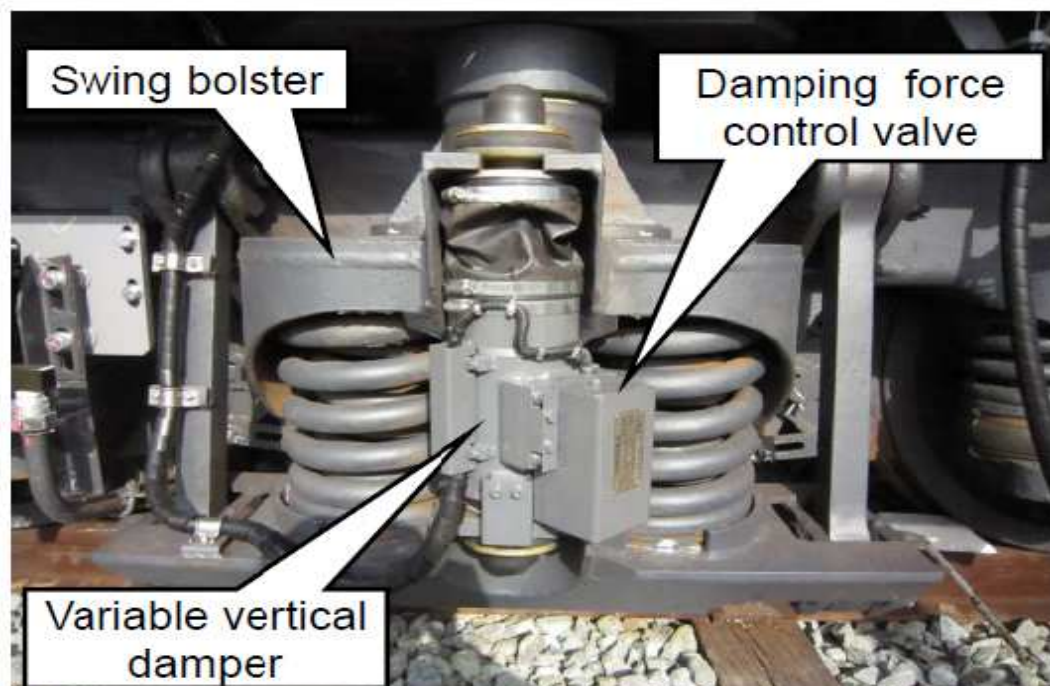


圖71.JR九州轉向架上安裝之變動垂直阻尼器

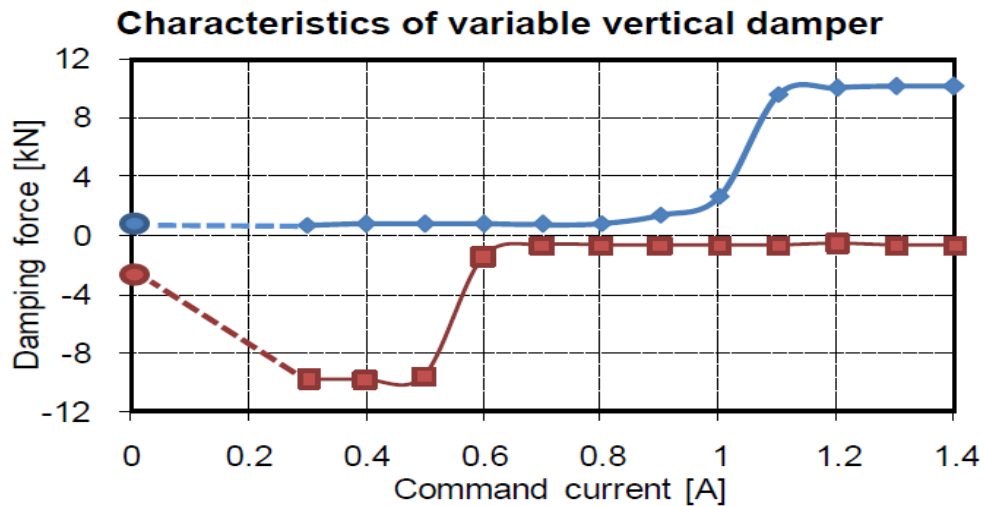


圖72.變動垂直阻尼器的特徵

(3)系統運作原理

由加速測量器偵測到垂直震動加速度，再傳送訊息至控制單元，控制單元計算相關數值後，再傳送訊息到變動垂直阻尼器。控制單元是供應加速測量器電力和接收訊息的裝置，也計算變動垂直阻尼器可承受震動力的數值，阻尼器的演算法是利用sky-hook控制法，有車體跳動(bouncing)、傾斜(pitching)和滾動(rolling)等模式，阻尼器和濾波器整合，震動加速度在每種模式皆會被計算。濾波器產生sky-hook gain後，震動加速度及sky-hook force即會被計算，並傳送訊息到變動垂直阻尼器。

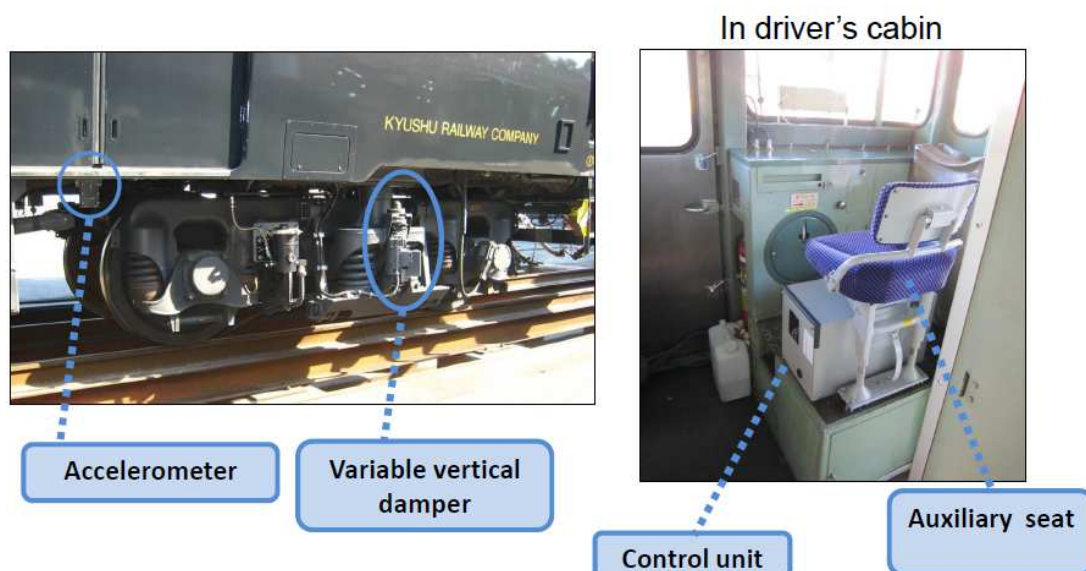


圖73.控制單元、加速測量器及變動垂直阻尼器

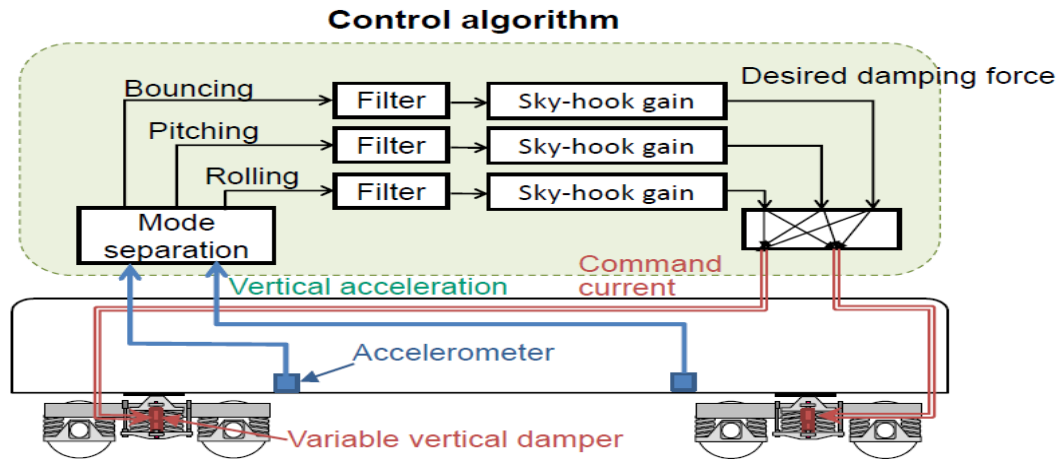


圖74.垂直震動減緩系統控制邏輯及系統運作原理

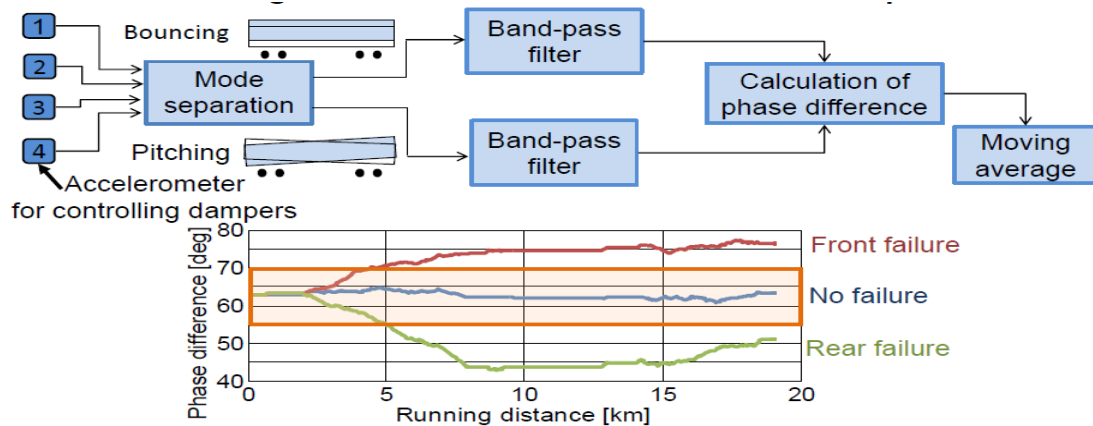


圖75.變動垂直阻尼器之錯誤偵測邏輯

(4)在運轉測試中震動減少效果顯著

經由減少垂直震動之系統運作，在73km/h的運轉速度下，並透過後轉向架加速動力分配裝置(PSD)量測數值，列車垂直震動相較於無減少垂直震動系統運作，減少4.4dB。JR九州並進行旅客乘坐舒適度調查，66%以上的旅客皆認為，列車震動情況相較於過去，已有顯著改善。

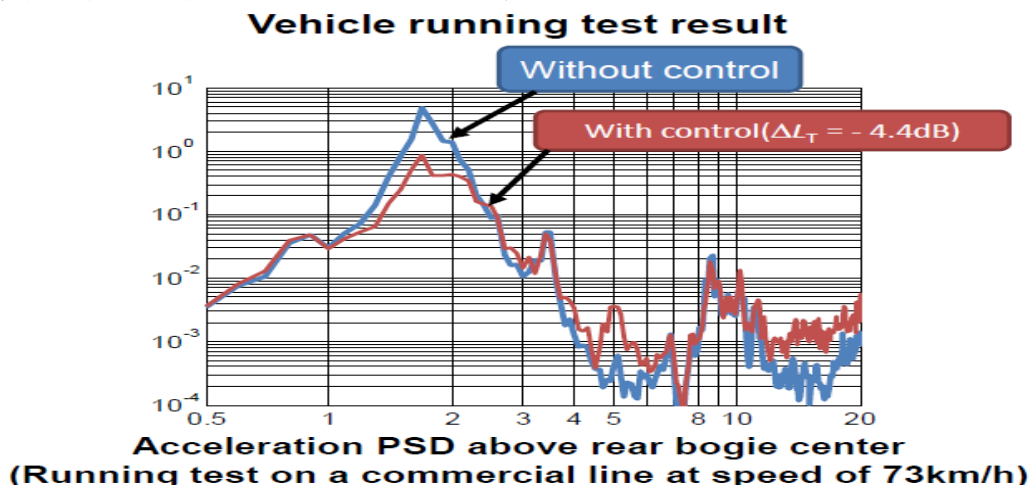


圖76.減少垂直震動之系統運作讓列車垂直震動有顯著改善

2.論文題目：Next Generation Train -NGT an innovative vehicle concept for high speed rail (次世代列車在高速鐵路之創新列車概念)

次世代列車(Next Generation Train, NGT)的概念為提供更快速、更舒適、更有效率、更節省能源的列車服務。在快速方面，速度可提升至400km/h以上，速度提升和車體改善、重量減輕和動力提升有關。在舒適方面，改善車廂的懸吊系統、改善兩個車廂連結處的阻尼系統來減少車廂晃動、抑制噪音、改善加速與煞車系統，起停過程更順暢。當然車廂的設計更是重點，次世代列車車廂強調舒適的座椅，並提供無線上網行動裝置電源，使商務人士能充分利用寶貴時間。在更有效率、節省能源方面，利用氣動雙翼(Aero Double-Wing)的獨特空氣動力造型，來建造機車頭車鼻以降低風阻，且可降低列車進入隧道時的音爆現象。風阻降低當然更省電力、能源，相同旅行距離，消耗的二氧化碳不到飛機的十分之一，在全球節能減、碳綠色運輸風潮下更佔優勢。德國航太中心(German Aerospace Center, DLR)針對次世代列車研發了三種列車：超高速旅客列車、高速饋電式旅客列車及高速貨物列車，建造次世代列車之主要目的為：減少旅客整體旅行時間、增加旅客舒適度及改善列車運轉對環境之影響。

Ultra high speed passenger train - NGT HST



High speed feeder train - NGT LINK



Ultra high speed freight train - NGT CARGO

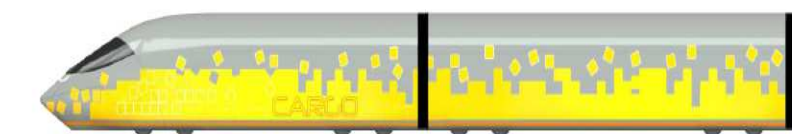


圖77.德國航太中心研發的三種次世代列車



圖78.德國次世代列車外型模擬照片

(1)次世代列車設計概念

包括：推進力系統、動力機車頭、車體結構、車門設計、車廂連結設計、滾動式輪軸、煞車系統、車體填充材料、運轉原理設計等八大架構。

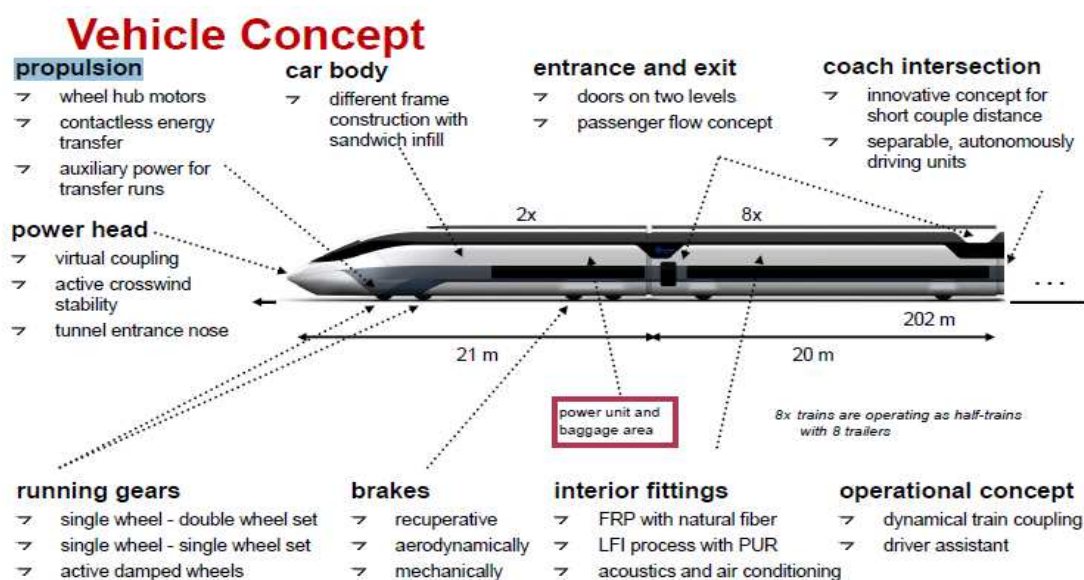


圖79.次世代列車設計概念圖

(2)德國次世代超高速旅客列車(HST)基本資料

德國超高速旅客列車採用標準軌距1,435mm，運轉能力為每月83,000公里，EMU18MW(在460km/h運轉時)，平均運轉速度400km/h，煞車距離8公里(在440km/h運轉時)，列車編組為兩個編組組成一列車，每個編組202公尺長，並有800個座位(40%為頭等艙60%為貳等艙)，列車為單一牽引、單一輪軸、機電一體化。從巴黎到維也納(1,150公里)，現今旅運時間：搭乘飛機時間2小時45分、開車時間12小時、搭乘火車時間11小時16分，若改搭乘超高速旅客列車經過6站，僅需3小時47分，減少67%的時間。



圖80.德國次世代超高速旅客列車(HST)

(3)雙層列車車廂設計

雙層之列車車廂設計，讓頭等艙與貳等艙之旅客分流，相較於傳統車廂，在到站旅客上下車時會縮短許多時間。車廂與月台皆有垂直分層之設計概念，旅客可透過上下層月台同時進出車廂(上層月台高度2,600mm、下層月台高度600mm)。

Passenger Flow Concept

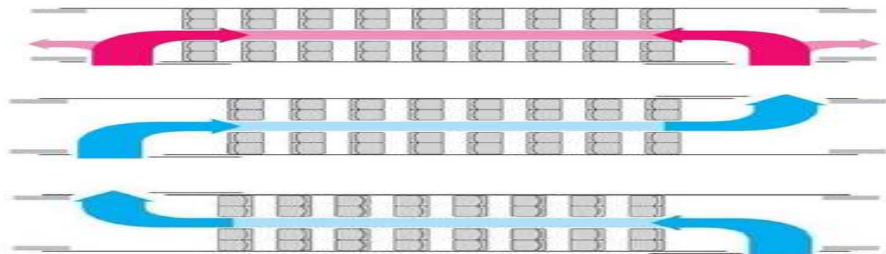


圖81.旅客分流之設計概念(傳統為紅色路線、分流為藍色路線)

Horizontal Separation of Classes



圖82.雙層車廂設計使旅客在上下層月台同時進出

Light Weight Construction Method

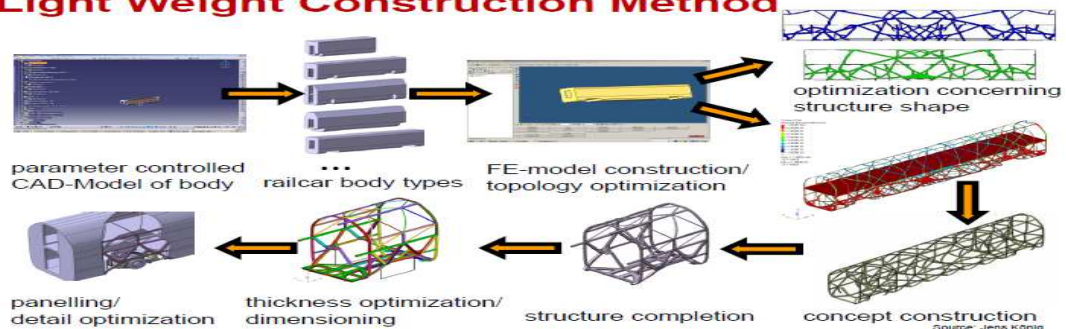


圖83.採用輕質量材料建立車體結構

Trailer Modules and Construction

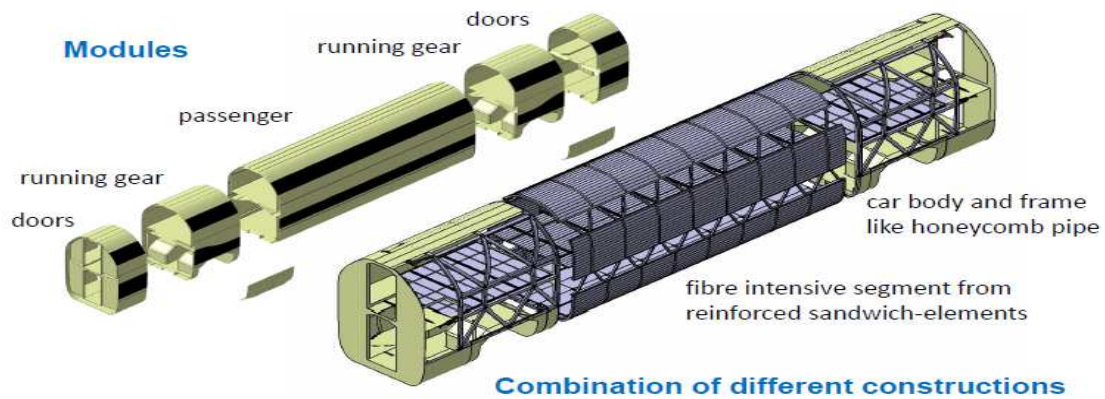


圖84.車體架構類似蜂巢狀，碳纖維原件形成加強三明治式組件

(4)列車碰撞力吸收長度

從碰撞力吸收區中點到車廂前端牆板為25cm，車廂前方牆板壓縮長度為35cm，當碰撞速度小於36km/h，最大車體壓縮長度小於10cm；當碰撞速度大於36km/h，車體壓縮長度為預留之50cm。碰撞等級(crash levels)依前後端車體及中間車體而有不同，在碰撞發生時，對車體各部位的影響程度不同，碰撞等級值越高，則碰撞影響力越大。



- Distance from absorption area middle to car front wall 25 cm
- Compression length at front wall 35 cm
maximum compression of car body at crash speeds < 36 km/h < 10 cm
- Compression spare area (red) for speeds > 36 km/h 50 cm extra
- Absorption lengths for end car nose under investigation

圖85.列車碰撞力吸收長度依車體部位而有所不同

Crash levels of the end car and between intermediate cars

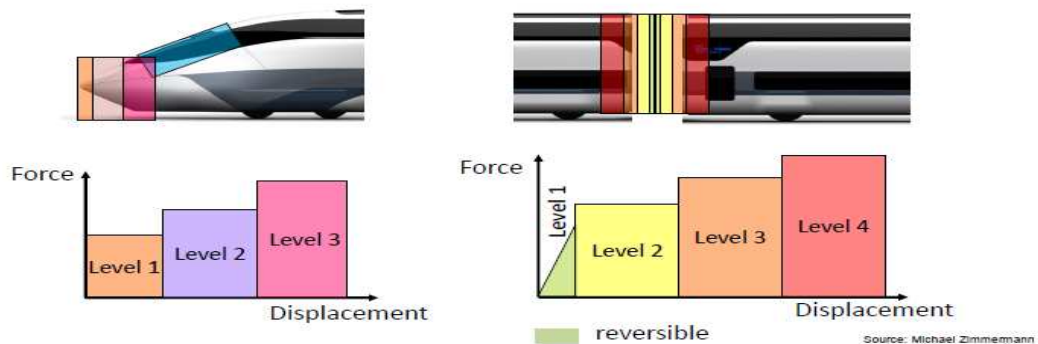


圖86.列車碰撞等級依車體部位而有所不同



圖87.以1:5縮小比例尺模擬之機車頭尖端(如上圖左方)

在遭受6噸的撞擊時，玻璃纖維製成的機車頭尖端具有凹陷及防止撞擊損害過大的效果(如上圖右方)



圖88.2012年在InnoTrans,Berlin展出之NGT超高速旅客列車內部構造，包括：最佳化流線型車體骨幹、機電整合之單一輪軸、降低衝撞力之機車頭尖端、符合HVAC之冷暖空調系統

雙層之超高速次世代列車優點：減少旅運時間至少50%以上、提供旅客更友善及安全之環境(增加30%以上之旅客運輸)、節省能源(減少50%以上的能源消耗)、碳纖維元件構成更輕盈的車體(減少30%以上的車體重量)。



圖89.德國次世代列車在月台停靠之模擬照片

(五)運輸安全(Safety)

1.論文題目：Advanced approaches for common safety targets and indicators for railway operators and infrastructure managers

(利用運輸安全指標之先進方法進行鐵路運轉及基礎設施管理)

研究報告分析從2000到2012年，30,000筆的事故資料，在國家等級和交通運輸公司等等級上進行安全度衡量，提供系統分析工具及運輸安全指標，給內部評估安全性、進行稽核和產生管理報告。瑞士聯邦交通局(FOT)是瑞士公共運輸的管理單位，也負責運輸安全控管(包括：鐵路、城市輕軌電車、公車、船舶和纜車之營運安全)，其安全控管之主要任務為:管制運輸業之營運安全、風險評估、檢查等。瑞士聯邦交通局並負責交通建設財政融資，審核軌道基礎設施延伸計畫。在監控運輸公司之安全營運方面，主要透過稽核、運轉檢查看運輸業者是否依規定履行相關安全責任。瑞士現有800萬人口，每1,000平方公里有122公里之鐵路軌道(歐盟:46公里)，有5,000名旅客，每日列車運輸總距離約274,000公里，每年運輸322萬旅客，29個城鎮有城市輕軌系統，21個城鎮有電車線公車。



圖90.瑞士交通運具：標準軌列車、窄軌列車、纜車、齒軌鐵路、城市輕軌電車、公車、船舶

(1)系統安全指標

藉由分析事故資料庫之長期及短期事故資料後，產生系統安全指標(safety indicators)、系統安全目標(safety targets)及系統安全績效(safety performance)，互相比較後，評估可能的安全風險。而鐵路系統安全指標有5項是由瑞士聯邦交通局(FOT)管理之最高安全指標，21項是由瑞士聯邦交通局(FOT)管理之高等安全指標(此項指標涵括90%風險)，117項為基本安全指標，為關於地點、種類、原因及事故嚴重性之指標。

System of safety indicators

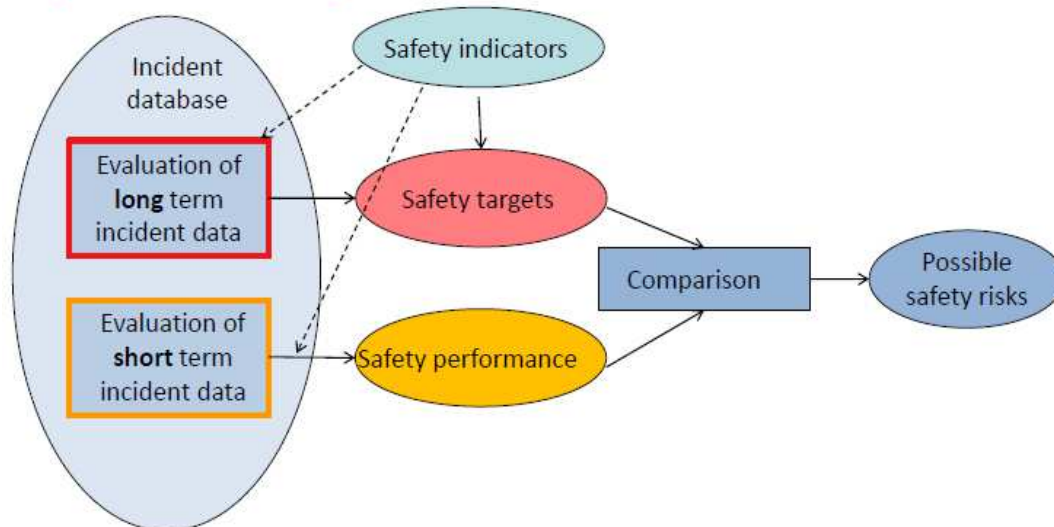


圖91.系統安全指標產生流程

System of safety indicators (railways)

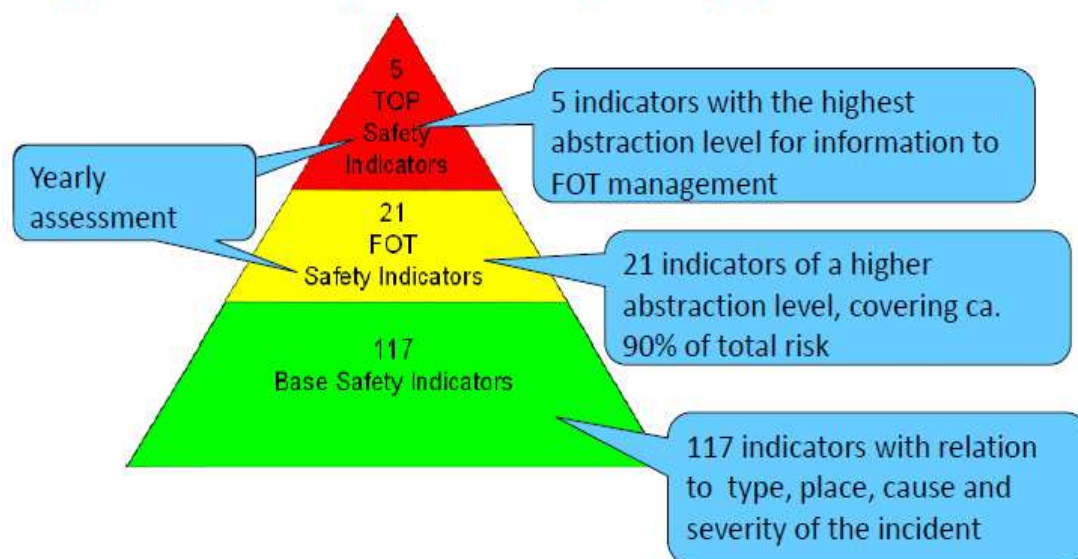


圖92.瑞士鐵路系統之系統安全指標

(2)評估安全指標方法及工具

利用圖表分析(如圖93)，每一個點代表每一月份發生事故之數量，紅色區域為可接受之安全數量低限(安全目標)，並以過去一年2013-2014年的資料來分析。評估結果以燈號表示：紅燈代表沒有達到安全指標標準，黃燈代表達到安全指標標準但處於警示範圍，綠燈代表達到安全指標標準。也可利用系統工具分析(如圖94)，在選擇運輸公司、安全指標、評估安全績效之時間範圍、安全標的之時間範圍、地區圖之選擇後，可查詢所選條件後，所產生之安全評估結果。

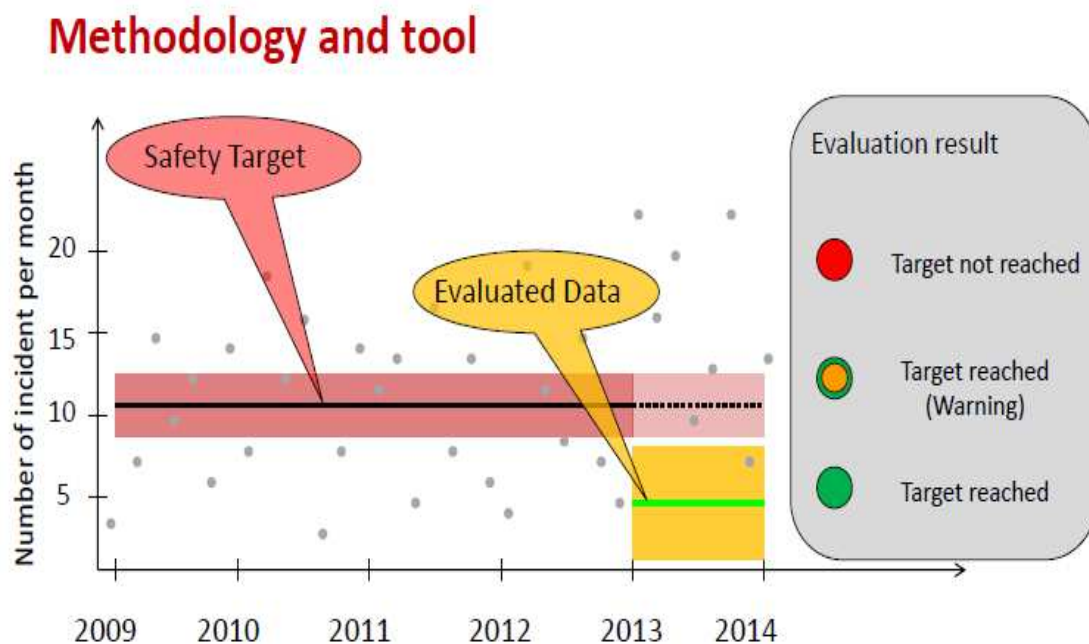


圖93.安全指標圖表分析

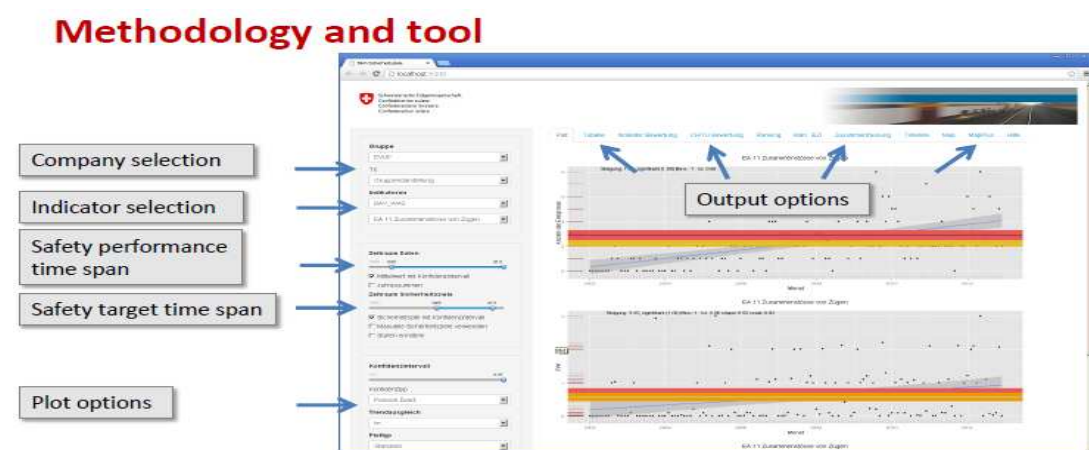


圖94.安全指標系統分析

Tool screenshots

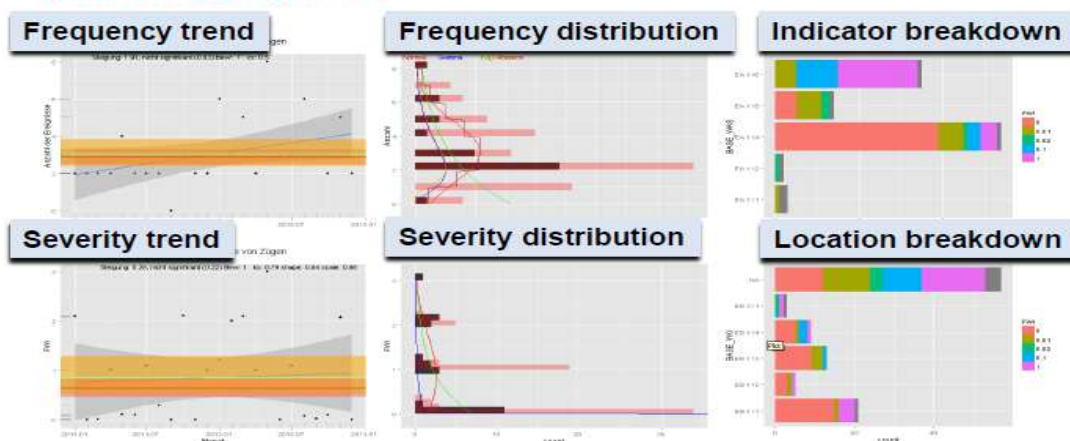


圖95.安全指標之統計分析包括：事故發生頻率趨勢、事故頻率分佈、安全指標失靈與否、嚴重事故趨勢、嚴重事故分佈、地區安全指標失靈與否

Tool screenshots

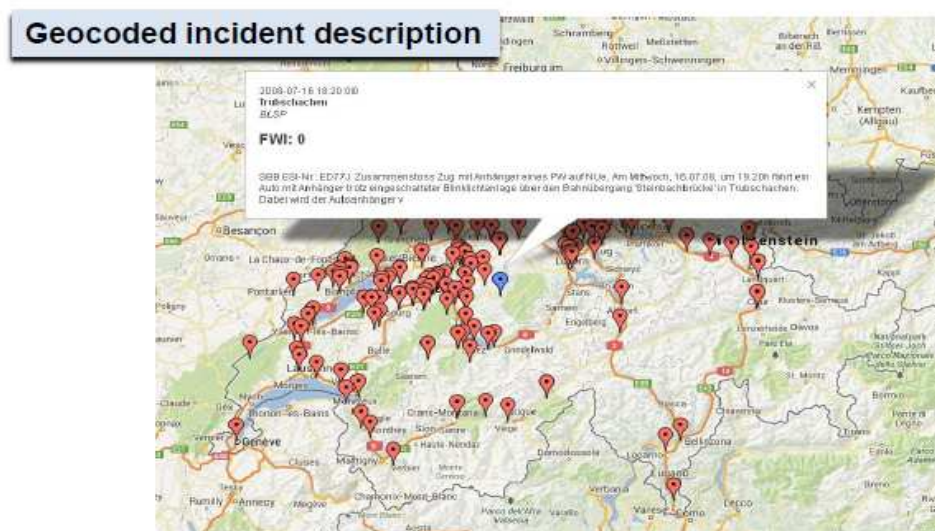


圖96.依地區別詳述每件事故發生地點及原因

相關運輸安全指標之方法論，在瑞士的鐵路、公車、城市輕軌電車和船舶等運輸公司，持續被施行及測試。瑞士聯邦交通局對運輸安全之目標及定義為，國家層級的安全績效管理，並對大多數運輸公司進行安全監控活動計畫(如：稽核、親臨檢查等)。希望運輸公司擴大安全方法論，鼓勵運輸公司使用事故趨勢分析及檢視安全指標，並發展相關統計分析工具，向瑞士聯邦交通局報告。交通局也會持續發展及評估相關安全指標設立及實際運用情況，並持續執行統計檢定測試和引入新系統技術。

(六)基礎建設及電氣化(Infrastructure and Electrical)

1.論文題目：Contribution of Terrestrial Laser Scanning for monitoring and inspection of railway infrastructure

(利用地面雷射掃描來監控和檢查鐵路基礎設施)

法國國鐵SNCF路網，是歐洲最密集且最複雜之鐵路網路，具有58,000公里之路線，17,000輛列車，每日運輸1千萬名旅客。為了軌道安全，需定期檢測監視鐵路基礎設施和查核員工是否依標準流程進行相關工作。傳統監控法利用GPS轉速計測量法(GPS Tachometry levelling)，優點為可直接量測及監控鐵路基礎設施之運轉表現，缺點為需要直接和軌道接觸、擾亂交通，監控及檢查費用昂貴，檢查測量不夠精密，屬於特定及單一使用者導向，及以太過簡單之方法來檢視複雜的軌道系統。因此在檢測鐵路基礎設施及相關資料取得上，是否有更具品質和效率之方法，是值得研究探討的。



圖97.法國國鐵SNCF鐵路路網圖

(1)地面雷射掃描技術

地面雷射掃描技術(Terrestrial laser scanning)是利用靜態雷射掃描法(static laser scanning)與行動地圖定位系統(mobile mapping system)兩種技術，去形成3D地理資訊(3D geometrical information)及產生光譜反射係數(spectral reflectance)之RGB三色資訊。靜態雷射掃描法技術之特色為：每秒可產生1百萬點不傷眼睛之雷射光束，其測量距離達到100公尺，正確性可達1公分。行動地圖定位系統技術之特色為：利用GNSS、odometer、INS技術進行地理定位，每秒可產生一百一十萬點不傷眼睛之雷射光束，具有多目標定位能力，正確性可達5公分以上，監控速度之上限為100km/h。

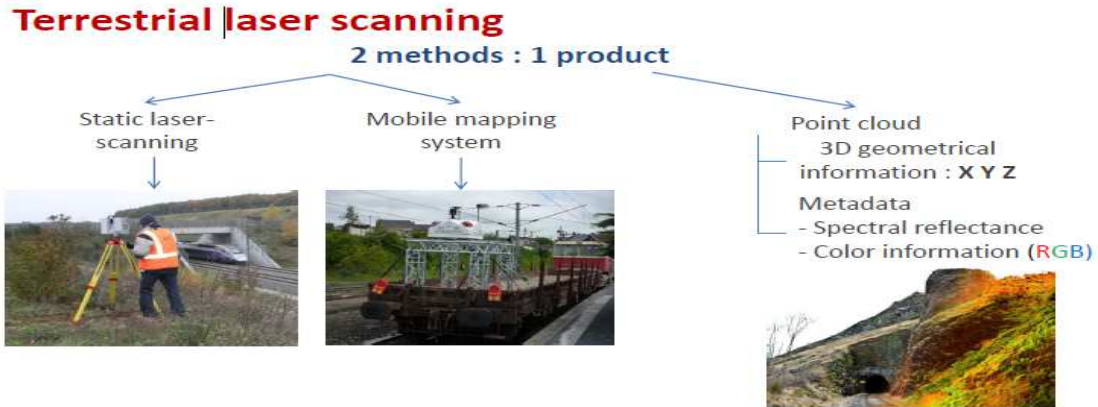


圖98.地面雷射掃描技術

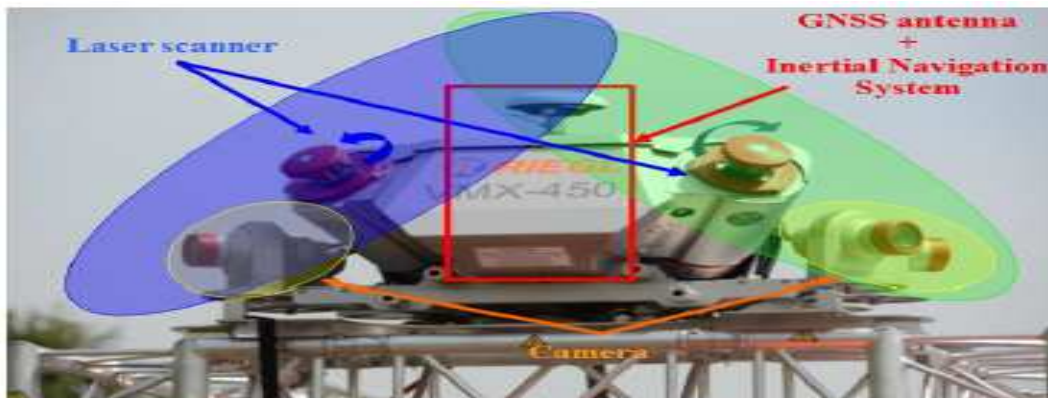


圖99.行動地圖定位系統技術

(2)3D軌道設施之地理資訊

利用地面雷射掃描技術(靜態雷射掃描法和行動地圖定位系統),所形成的3D軌道設施地理資訊及光譜反射係數RGB三色資訊,可利用在軌道檢測與監控、軌道淨空控制、電車線檢查、橋樑與建築物監控、植被管控等。在鐵路基礎設施設備出現損壞、故障或人為破壞時,可立即透過系統傳輸這些地理資訊給相關管理單位及人員,即時得知損壞情況及立即進行修復。在植被管控上,可進行鐵路路線所經之環境評估(土地表面及植被評估),並輔以GIS系統進行最佳化植被管理,以配合國家環保及永續發展策略。

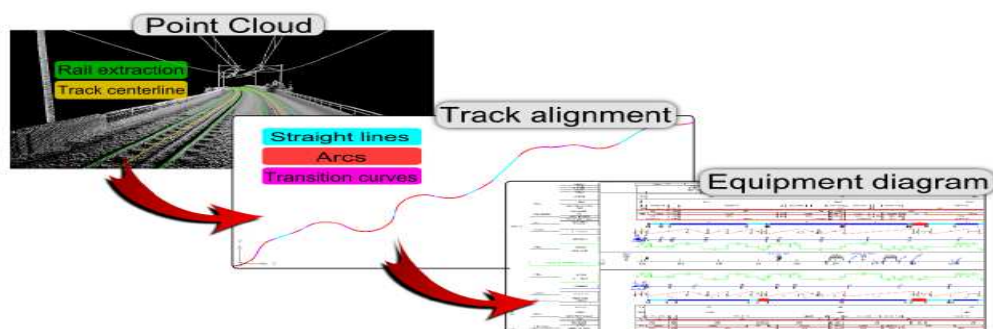


圖100.軌道之3D地理資訊分析



圖101.電車線之3D地理資訊分析

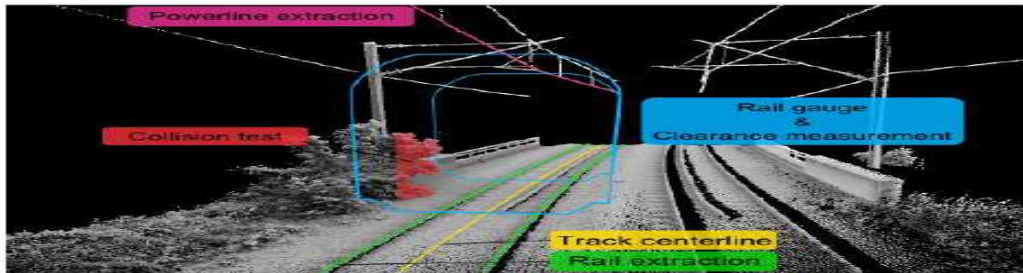


圖102.軌道淨空控制之3D地理資訊分析

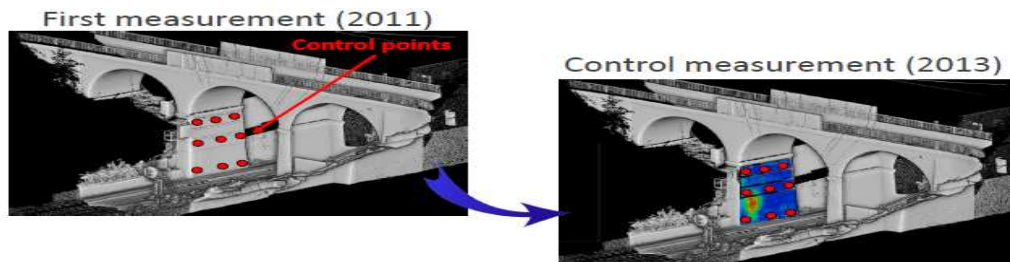


圖103.橋樑與建築物之3D地理資訊分析

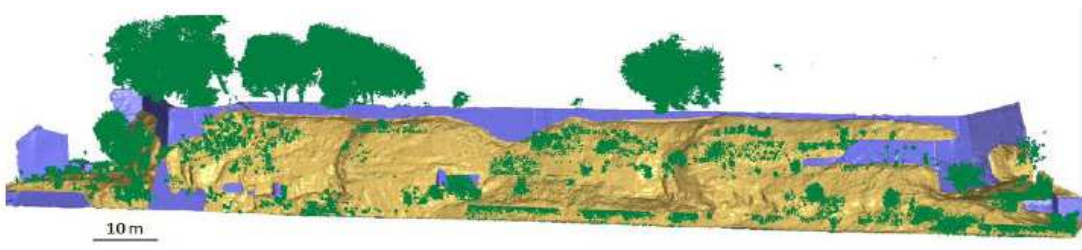


圖104.植被之3D地理資訊分析

(3)在難以接近區域之鐵路基礎設施監控

在軌道或基礎設施鄰近山壁地區時，山壁岩石表面監控有時是難以接近進行的，若是從軌道面開始量測或監控複雜之地質環境，也難以掌控的上方岩層的狀況，一旦發生落石、山崩等危險事故，後果不勘設想。若要進行難以接近區域之地表調查，可利用無人遙控飛機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)搭載相關量測設備，居高臨下進行監控，優點為監控地點多且廣，空中俯瞰一目了然，尤其適合運用在量測大距離之軌道範圍，監控鄰近偏遠、險峻、不穩定地質環境之鐵路基礎設施，在取得相關觀測資料後，也易於進行地質分析及風險分析。

To geological analysis ...

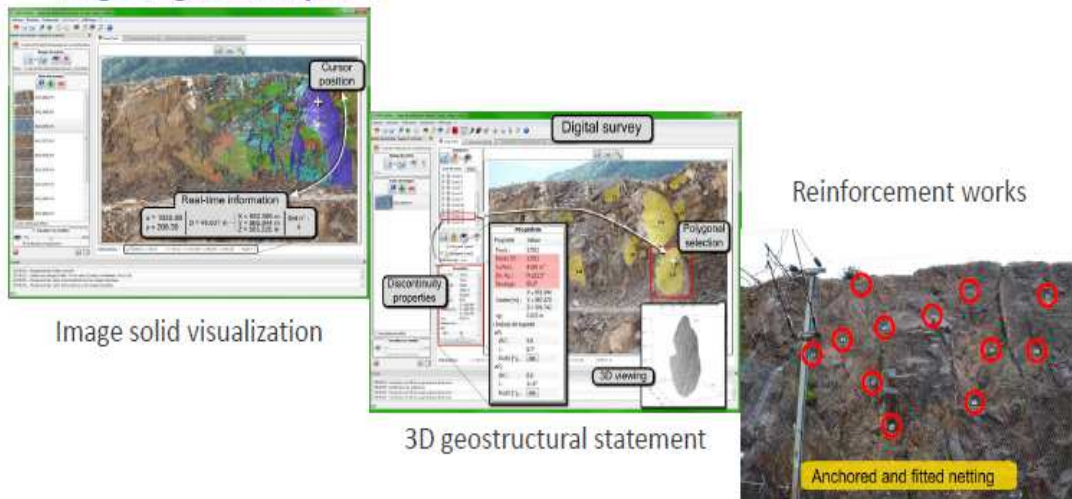


圖105.在難以接近區域之地質監控與分析



圖106.危險地質監控與分析



圖107.利用無人遙控飛機進行監控

全方面軌道監控與檢測系統，在營運上應具備軌道監控與檢測、軌道路面淨空監控與檢測、電車線檢查、橋梁隧道與建築物設備監控、植被監控等。須蒐集完整地理環境資料，利用電腦模擬分析，並積極發展3D鐵路系統平台，儘量避免使用2D平台，以免失真。可利用多重感應方法，例如：雷射掃描、紅外線熱感應圖像法，來監控電車線過熱、土木工程之阻尼(damping)過高之問題。利用地面雷射掃描與GIS量測，觀察土壤表面風化是否會引起軌道所處地面下陷。

使用3D地理資料同時具備經濟性與技術性，也具備資料完整性。透過高科技之方法，可減少因鐵路基礎設施損壞所造成之危害，檢測成本也可減少50%以上，是未來鐵路基礎設施檢測與監控上不可或缺的方法。

(七)經濟與政策(Economics and Policy)

1.論文題目：A nested logit model of transit mode choice of multimodal public transportation using smart card data of Seoul

(利用首爾多模式公眾運輸之智慧電子票證資料來建構運輸模式選擇的網狀邏輯模型)

韓國大眾運輸使用智慧卡系統已有17年的歷史，自1996年2月，由現金到使用智慧卡之支付方法改變開始。1996年7月，智慧卡使用在所有首爾公車上，2004年整合首爾所有公車業者之費率清算系統，2009年擴張延伸至首爾大眾運輸系統。交通運輸智慧卡佔所有首爾智慧卡市場90.2%，開啟韓國民眾搭乘大眾運輸使用智慧卡之風氣，首爾智慧卡市場更佔韓國所有智慧卡市場的50.6%。在韓國政府推行一卡通(One Card All Pass)的計畫下，每天有200億筆之交通運輸智慧卡資料產生，以科學方法充分利用交通運輸智慧卡原始資料，加以建立統計模型分析，有利於許多交通模式的預測，和未來交通政策的推動。



圖108.韓國一卡通

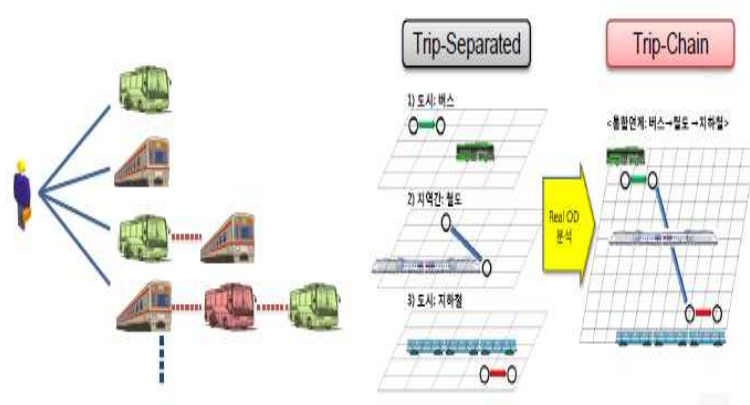


圖109.智慧卡整合了首爾的大眾運輸市場

(1)使用智慧卡資料進行統計分析

每天200億筆之交通運輸智慧卡資料是極為龐大的，資料的分門別類及去蕪存菁過程就非常重要，而建立統計模型最繁重的工作就在原始資料的整理上。而後的工作流程有：由原始資料建立相關變數、找尋具解釋力之變數、選擇合適的統計模型、評估各種交通運具特性、產生運具選擇模型，模型產生後進而分析尋找模型一般性和特殊性解釋。資料定義為交通運輸智慧卡全天的資料，及首爾市交通路網轉乘之外部資料，例如：運轉時刻表資料、車站資訊、路線資訊等。統計程式是利用SAS9.2和Ultra Edit，路網分析程式是利用TransCAD 5.0。因為在大

都市具備多種交通運輸運具的環境下，進行複合交通運輸的研究文獻較少，利用交通運輸智慧卡資料，可追蹤民眾使用交通運具之行為模式，讓這項研究更富價值。

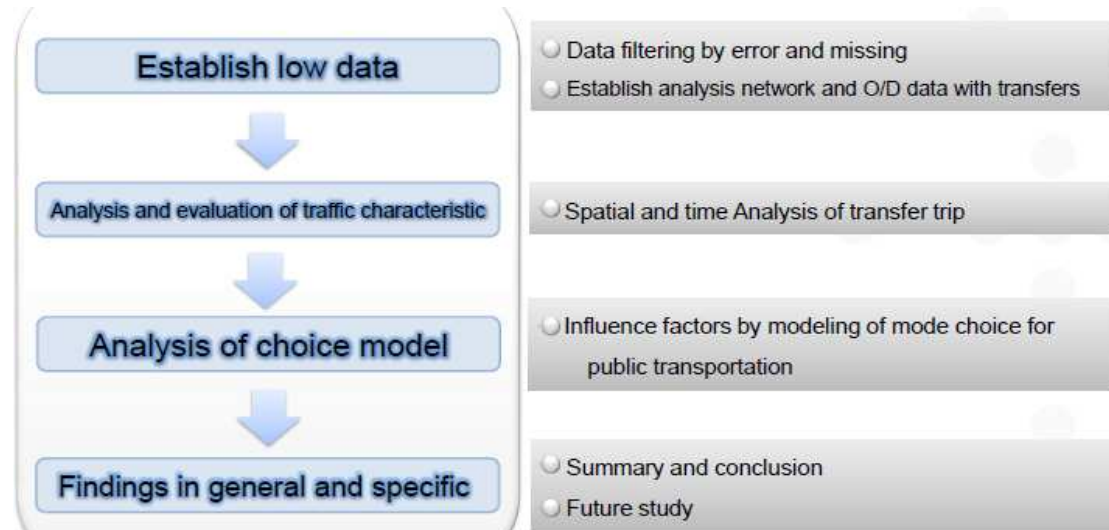


圖110.使用智慧卡資料進行統計分析之流程

Information	Description	Example
Card ID	Card number for each smart card	4
Departure time	Bus departure time	20120822162108
Transaction ID	Distinguished ID for Transfer	011
Type of mode	Bus(local/main/feeder/metropolitan/circle bus), Metro	201
Number of transfers	Number of transfers (from 0 to 4)	2
ID of bus route	Given number of every bus route	41080010
ID of bus company	Given number of every bus company	1726941
ID of vehicle	Given number of every operated bus	141711417
Type of user	Adult, Student, Children or Elderly	1
Boarding time	Boarding time (year/month/day/hour/minute/second)	20120822176736
ID of boarding location	Given number of boarding bus/metro stop	4100223
Alighting time	Alighting time (year/month/day/hour/minute/second)	2012082218084
ID of alighting location	Given number of alighting bus/metro stop	4100762
Number of passenger	Number of passenger	1
Basic fare	Starting(base) fare	900
Additional fare	Additional fare with distance	0
Travel Distance	Distance from origin stop to destination stop	8210

圖111.交通運輸智慧卡資料之欄位架構

Variable	Number of passengers (persons)	Number of transfers (from 0 to 4 per origin to destination trip)	Transfer time (minutes)	In-vehicle transit time IVTT (minutes)	Metro IVTT	Bus IVTT	Distance (km)	Metro distance (km)	Bus distance (km)	Fare (KWN)
Number of passengers (persons)	95,266	0.44	5.73	31.73	30.46	16.8	11.14	12.29	4.49	1,011.2
adult	72,040	0.46	5.79	33.69	31.77	17.27	11.99	12.98	4.65	1,138.14
student	17,456	0.48	5.51	23.82	23.03	15.21	7.44	8.7	3.96	811.32
senior	3,715	0	3.91	30.6	30.55	8.87	11.5	11.49	2.1	6.63
other	2,055									

圖112.依不同客群及交通運具來觀察轉乘模式的特性

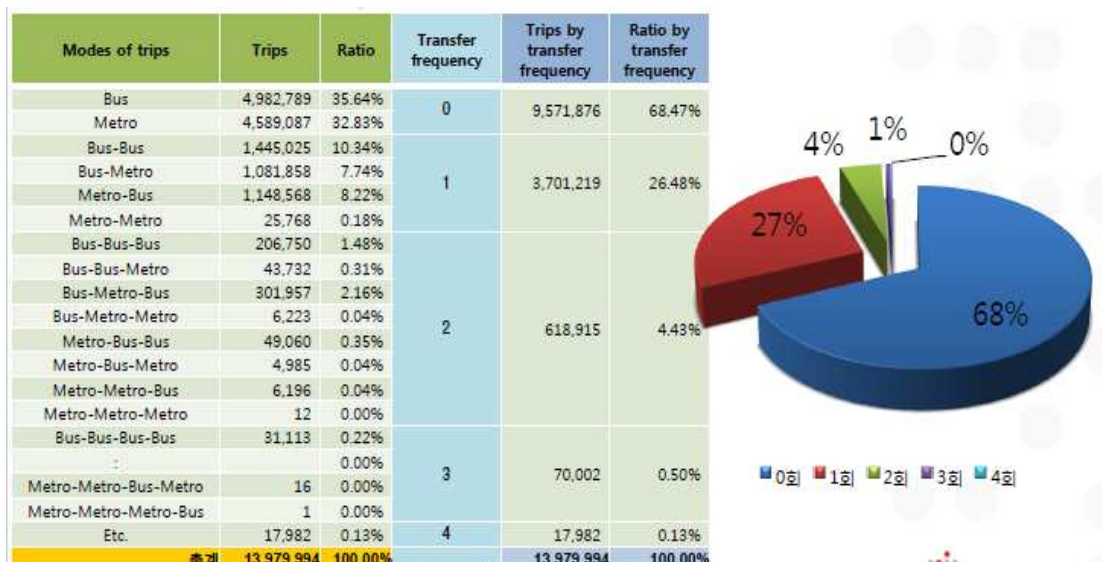


圖113.所有旅客之交通行為模式，整個旅程只有一次轉乘佔95%以上，若包含2次轉乘則佔99%以上

(2)空間、時間與交通運具範圍

利用GIS邊界分析後，空間範圍選定大首爾市，轉乘之出發地及目的地為首爾市中心，因為若擴大至大首爾市以外範圍，會產生過大的資料量。分析時間範圍選定2011年3月3日，資料區分為早上尖峰時間(6:00~9:00)、早上離峰時間(9:00~17:00)、下午尖峰時間(17:00~20:00)、下午離峰時間(20:00~23:00)。交通運具範圍選定首爾市公車(直達巴士、特定區間巴士、快速巴士、市郊巴士)和地下鐵系統。

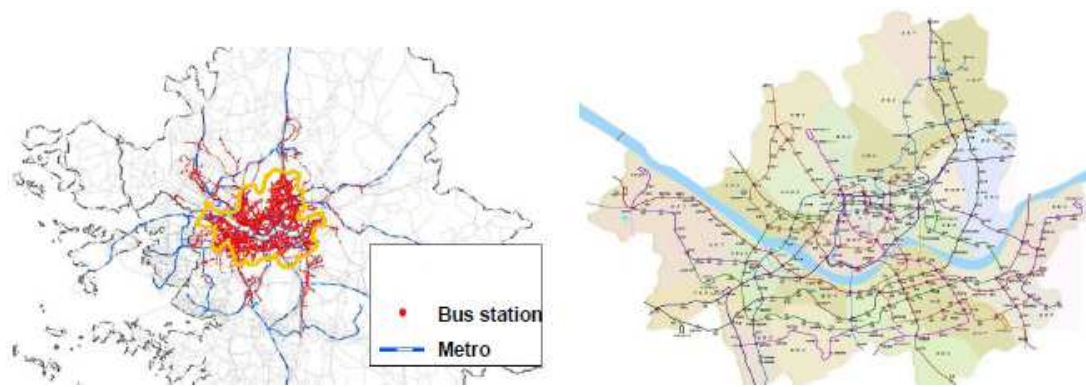


圖114.首爾市公車和地下鐵系統路線

(3)統計模型

由產生解釋變數，到產生各種統計模型，分析及測試多重交通運具組合之效用，再依功能效用來選擇模型。初步選擇的是轉乘模式選擇模型(MML)，但此模型因受限於MML模型架構之不相關且可選擇性運具的獨立性限制，因此需發展更先進的多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML Transfer Choice Model)，來分析不相關且可選擇性運具之存在性，故轉乘模式最後選擇「多重交通運具選擇之網狀邏輯模型」來估計結果。

Nop	Number of passengers (persons)
NTF	Number of transfers (from 0 to 4) per origin-to-destination trip
TFT	Transfer time (minutes)
IVTT	In-vehicle transit time (minutes)
MIVTT	Metro in- vehicle travel time (minutes)
BIVTT	Bus in- vehicle time (minutes)
Dist	Distance from origin stop to destination stop (km)
Mdist	Metro distance from origin stop to destination stop (km)
Bdist	Bus distance from origin stop to destination stop (km)
Fare	Starting(base) fare + Additional fare with distance (KNW)

圖115.模型解釋變數

	NTF	TFT	FARE	MODE	IVTT	MIVTT	RT_M	Dist	MDIST	RD_M
NTF		0.714	0.164	0.921	0.064	-0.028	-0.211	0.116	-0.027	-0.18
TFT			0.107	0.682	0.048	-0.029	-0.181	0.078	-0.046	-0.161
FARE				0.141	0.094	0.067	-0.067	0.282	0.194	-0.061
MODE					0.066	0.017	-0.067	0.142	0.061	-0.034
IVTT						0.948	0.064	0.367	0.28	0.068
MIVTT							0.294	0.348	0.417	0.296
RT_M								0.269	0.616	0.997
Dist									0.86	0.266
MDIST										0.62
RD_M										

圖116.測試多重交通運具組合之效用功能表

Model 1: $U_j = \alpha_j + \beta_1 \text{MIVTT} + \beta_2 \text{BIVTT} + \beta_3 \text{Fare}$

Model 2: $U_j = \alpha_j + \beta_1 \text{IVTT} + \beta_2 \text{NTF}$

Model 3: $U_j = \alpha_j + \beta_1 \text{MIVTT} + \beta_2 \text{BIVTT} + \beta_3 \text{NTF}$

Where:

U_j : deterministic utility of alternative j,

α_j : constant parameter for alternative j,

β_n : parameters for attribute n,

MIVTT: In-vehicle transit time by Metro,

BIVTT: In vehicle transit time by bus,

IVTT: In vehicle transit time,

NTF : Number of transfers (from 0 to 4) per origin-to-destination trip

圖117.選擇模型的功能效用

Variables	MODEL1			MODEL2			MODEL3		
	parameter	SE	t-Value	parameter	SE	t-Value	parameter	SE	t-Value
Metro	-0.30	0.01	-23.79	0.41	0.01	36.70	-0.26	0.01	-19.52
Bus-Bus	-0.42	0.02	-27.48	0.41	0.02	25.68	0.41	0.02	25.34
Bus-Metro	-1.09	0.02	-62.72	0.21	0.02	11.58	-0.24	0.02	-13.15
Metro-Bus	-0.31	0.01	-22.47	0.36	0.01	24.37	0.24	0.01	16.04
Bus-Bus-Bus	-0.44	0.02	-28.47	0.45	0.02	26.39	-0.21	0.02	-11.22
Bus-Bus-Metro	-0.66	0.02	-37.70	-0.49	0.02	-26.41	-0.19	0.02	-10.10
Bus-Metro-Bus	-0.52	0.01	-37.87	0.29	0.02	19.21	-0.31	0.02	-19.37
Metro-Bus-Bus	-0.39	0.02	-24.86	0.05	0.02	2.92	0.15	0.02	9.23
Metro-Bus-Metro	-0.62	0.02	-40.38	-0.04	0.02	-2.82	-0.38	0.02	-23.64
IVTT				-0.03	0.00	-68.22			
MIVTT	-0.05	0.00	-109.98				-0.01	0.00	-26.35
BIVTT	-0.10	0.00	-179.05				-0.05	0.00	-96.73
NTF				-1.30	0.01	-213.39	-1.33	0.01	-199.00
FARE	-0.001	0.00	-51.15						
No. of observations	95,266			95,266			95,266		
Restricted log likelihood ^a LL(0)	-206,825.2			-206,825.2			-206,825.2		
Final log likelihood LL(β)	-171,099.0			-155,963.1			-148,430.3		
Rho-square ρ^2	0.20741			0.26807			0.30342		
Adj Rho-square ρ^2_{adj}	0.20739			0.26806			0.30341		
Rho-square constant $\rho^2(C)$	0.17274			0.24592			0.28234		

圖118.轉乘模式選擇模型(MML)

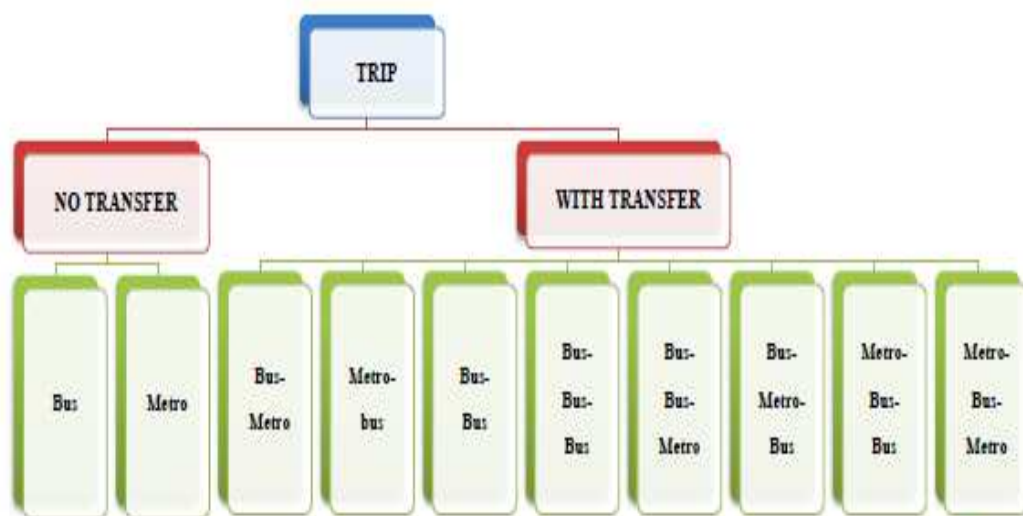


圖119.多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)架構

• NML Transfer Choice Model

Variables	MODEL2			MODEL3		
	parameter	SE	t-Value	parameter	SE	t-Value
Metro	0.51	0.01	43.64	-0.17	0.01	-11.69
Bus-Bus	0.62	0.03	23.49	0.54	0.04	14.08
Bus-Metro	0.38	0.03	13.77	-0.22	0.04	-5.29
Metro-Bus	0.54	0.03	20.03	0.25	0.04	6.39
Bus-Bus-Bus	0.70	0.03	24.36	-0.13	0.04	-3.08
Bus-Bus-Metro	-0.16	0.03	-5.60	-0.02	0.04	-0.54
Bus-Metro-Bus	0.62	0.03	23.42	-0.14	0.04	-3.66
Metro-Bus-Bus	0.38	0.03	13.91	0.35	0.04	8.86
Metro-Bus-Metro	0.26	0.03	9.95	-0.24	0.04	-6.28
IVTT	-0.03	0.00	-67.26			
MIVTT				-0.01	0.00	-23.93
BIVTT				-0.05	0.00	-90.56
NTF	-1.48	0.01	-192.87	-1.50	0.01	-173.48
FARE						
θ (Inclusive value of transfer)	0.63	0.02	39.91	0.61	0.02	27.19
No. of observations			95,266			95,266
Restricted log likelihood ^a LL(θ)			-213,084.5			-213,084.5
Final log likelihood LL(β)			-154,932.9			-147,748.4
Rho-square ρ^2			0.27290			0.30662

圖120.多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)估計結果

由轉乘模式選擇模型(MML)預估結果和多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)去分析10種單一及多次轉乘行為，在轉乘模式選擇上，轉乘次數相較於旅行時間或費率，對旅客擁有較大影響力，這也解釋為何旅客喜歡選擇轉乘運具是有較少轉乘次數者，而費率變數對轉乘模式選擇有最小影響力。

旅客對於利用公車轉乘時間參數大於利用地下鐵轉乘時間參數，亦即旅客願意花較多時間等待轉乘公車。而利用智慧卡資料之多重交通運具選擇之網狀邏輯模型(NML)優於轉乘模式選擇模型(MML)，對於轉乘運具公司和轉乘旅客，這些資訊是有用的，因為轉乘服務需求取決於轉乘行為模式，未來更多基於智慧卡資料的轉乘政策效度或轉乘服務加強度之研究分析是必要的。智慧卡資料對於交通模式選擇，可提供有價值資訊，包括：轉乘旅客資訊及社會人口統計學資訊。當社會人口統計學資訊連結轉乘智慧卡資料，可提供更佳的資料品質供未來研究。

(八)環境保護(Environment)

1.論文題目：Low carbon and eco-material adaptation method to railway vehicle through the life cycle environmental performance quantification (以低碳和生態材料建造鐵路列車並以列車生命週期來符合環境評估標準)

鐵路列車之環境生命週期評估標準，是依據UIC(國際鐵路聯盟)之新列車環保評估規定，來制訂環境生命週期評估標準工具，其中包括：材料的資源回收、

能源使用效率、空氣品質、噪音及地面振動等標準。而一般生命週期評定標準(Life Cycle Assessment, LCA)是依據ISO 14044來制訂，以此標準來調查週遭環境因素和對環境潛在之影響。以列車之生命週期來看，從原始材料取得，到設計、生產、分配、使用和報廢，每一個階段都需符合環保評定標準。列車系統之環保評定範圍包括：廢棄物、廢氣排放、不能重新產生的能源資產、能重新產生的能源資產、物料資源等。



圖121.UIC規定之鐵路列車環境生命週期評估標準

System boundary

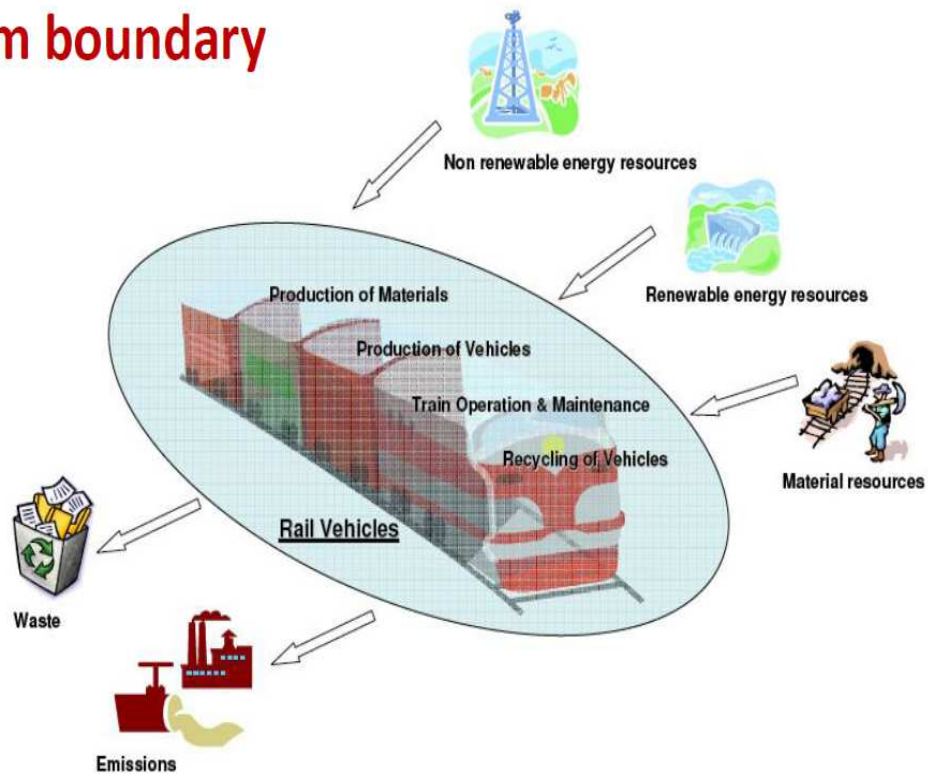


圖122.列車系統之環保評定範圍

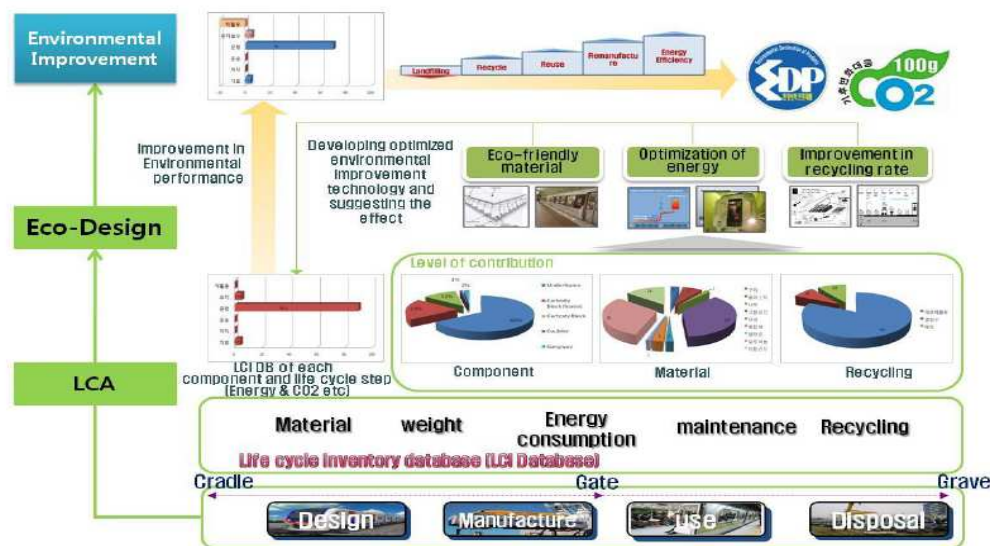


圖123.依照一般生命週期評定標準(LCA)之產品流程，分為設計、生產、使用、報廢四個階段



2.1 Energy consumption measurements	pre-condition
2.2 Energy efficient driving	CO ₂ reduction potential ² → 5-10%:
2.4 Eco-performance of new rolling stock	CO ₂ reduction potential → up to 30%:
2.6 Regenerative braking	CO ₂ reduction Potential → 10-20%:



EMISSIONS REDUCTION GUIDELINES

圖124.UIC規定之二氧化碳排放標準，使用生態材料之新製造列車，其二氧化碳排放率最多可減少至30%

(1)鐵路列車製造流程改變對環境的影響

在材料回收上，目標為95%以上之材料回收，其方法有：採用可回收之環保材料、重新檢視回收流程、建造生態環保回收設備、加強回收執行能力、採用生態環保設計。在能源使用效率上，方法有：能源儲存、建造較輕車體、使用高效率之電力設備、採用生態能源、符合生態環保之列車駕駛方式。在空氣污染減少上，方法有：採用空氣品質監控、污染粒子排除、含氮化合物排除、揮發性有機化合物排除。在噪音及地面震動減少上，方法有：減少輪軸和軌道面接觸之噪音、降低列車噪音和震動、建立噪音模型、降低貨車噪音、降低鐵路重大設備所發出之噪音、建立隔音設備。

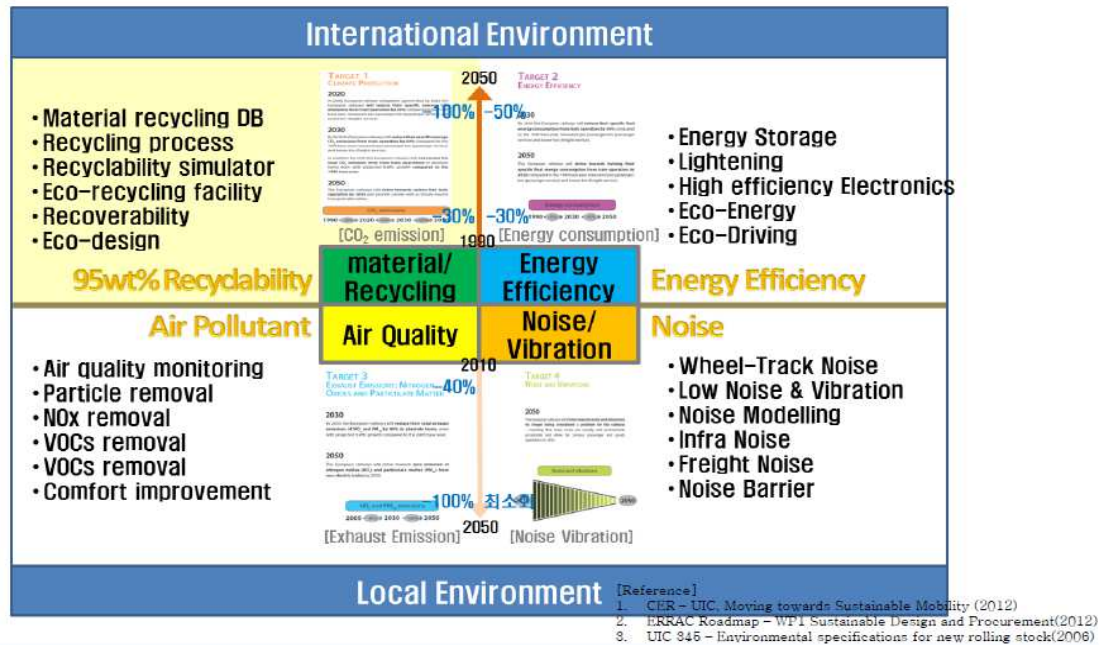


圖125.鐵路列車製造流程改變對環境的影響

(2)鐵路列車之生命週期評估工具

利用電腦系統輸入相關資料分析，產生生命週期碳排放柱狀圖(包括設計、生產、使用、報廢等階段)，使用ROHS分析法或資源回收能力分析法(Recyclability Analysis)。鐵路列車之生命週期評估工具特徵為：簡易使用、內嵌一般鐵路架構、簡易錯誤偵測、碳排放生命週期和回收率計算、簡易危險物質偵測。

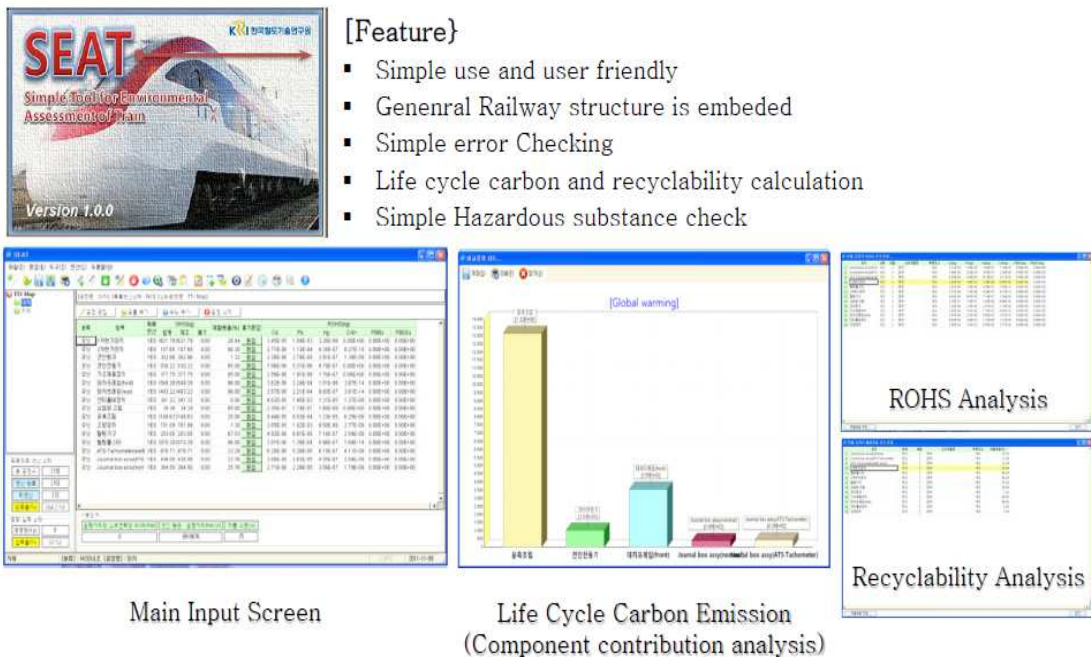


圖126.鐵路列車之生命週期評估工具

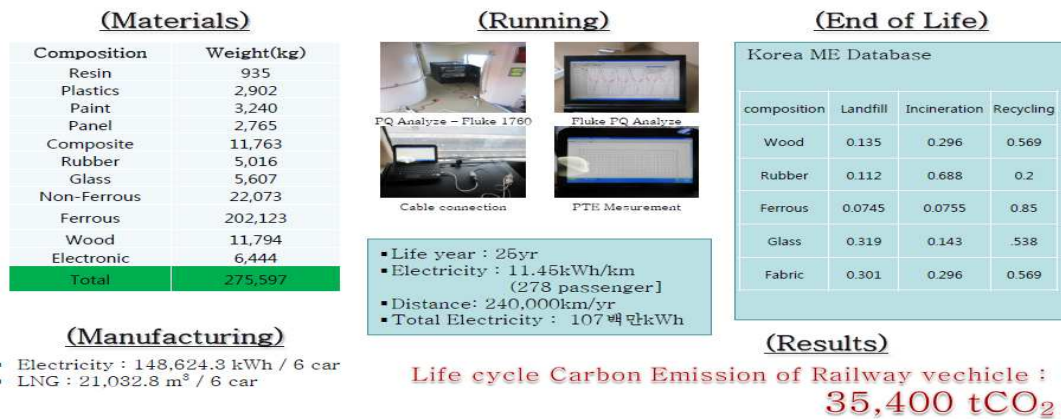


圖127.韓國列車之生命週期(從製造到報廢)共排放35,400噸二氧化碳

Alternative lightening material



圖128.製造列車生態材料之採用(列車本體使用更輕更環保之鋁合金)

為了改善環保評估指標，生態設計是有用的方法，鐵路列車的環保評估需要考量所有生命週期階段，包括：生態設計、材料能源效率和可回收性。鐵路列車是使用能源與材料製成的複雜產品，為了減少碳排放使用，利用生命週期系統分析工具去考量列車生命週期，是有必要去發展和廣泛研發的。而未來鐵路列車之製造，經由系統分析及技術改善，深信可達到更符合生態環保之境界。

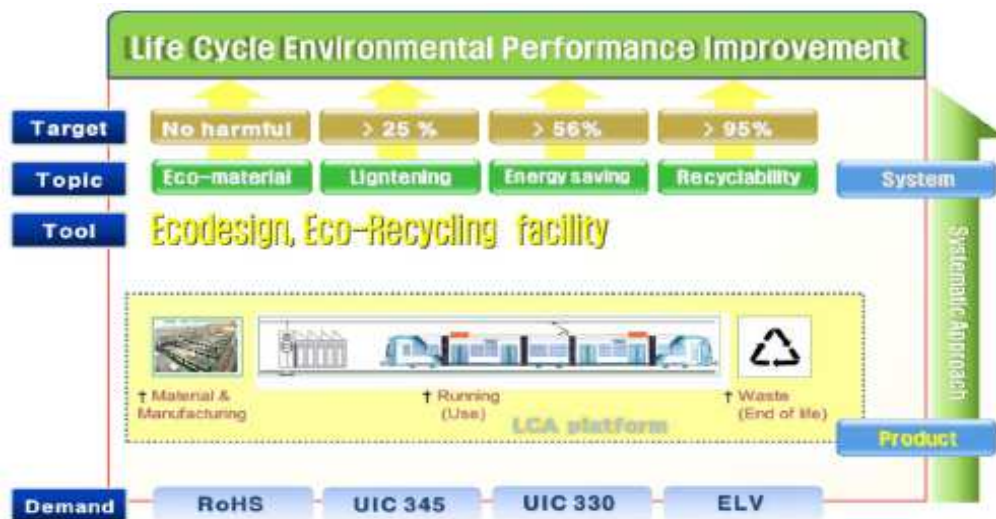


圖129.鐵路列車經由環保生命週期之製造模式，達到節能減碳的改善目標